



**TUGAS AKHIR – RE 141581**

**UJI KEMAMPUAN *Cyperus rotundus* DAN  
*Scirpus grossus* DALAM MENGOLAH  
LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN SISTEM  
*SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED  
WETLANDS (SSF-CWs)***

**DORLINCA SIMAMORA**  
3313100055

**Dosen Pembimbing**  
Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD.

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**TUGAS AKHIR – RE 141581**

**UJI KEMAMPUAN *Cyperus rotundus* DAN  
*Scirpus grossus* DALAM MENGOLAH  
LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN SISTEM  
*SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED  
WETLANDS (SSF-CWs)***

DORLINCA SIMAMORA  
3313100055

**Dosen Pembimbing**

Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD.

Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan kehutanan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**FINAL PROJECT – RE 141581**

**THE ANALYSIS ABILITY OF *Cyperus rotundus* DAN *Scirpus grossus* IN  
PROCESSING LIQUID WASTE OF TEMPE  
USED SUBSURFACE FLOW  
CONSTRUCTED WETLANDS (SSF-CWs)  
SYSTEM**

**DORLINCA SIMAMORA**  
3313100055

**Supervisor**  
Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD.

Environmental Engineering Department  
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**LEMBAR PENGESAHAN**  
**UJI KEMAMPUAN *Cyperus rotundus* DAN *Scirpus grossus* DALAM MENGOLAH LIMBAH CAIR TEMPE**  
**DENGAN SISTEM SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED**  
**WETLANDS (SSF-CWs)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S- 1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**DORLINCA SIMAMORA**  
**3313100055**

**Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:**



**Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
**197111142003122001**



# **SCIRPUS GROSSUS DALAM MENGOLAH LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN SISTEM *SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLANDS* (SSF-CWs)**

NAMA : DORLINCA SIMAMORA  
NRP : 3313100055  
JURUSAN : TEKNIK LINGKUNGAN  
DOSEN PEMBIMBING : IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D

## **ABSTRAK**

Sebagian besar industri tempe masih membuang limbahnya langsung ke badan air tanpa pengolahan terlebih dulu. Limbah cair yang dihasilkan dari industri tempe masih mengandung padatan tersuspensi dan terlarut yang dapat mencemari perairan, oleh karena itu harus diturunkan kadarnya sebelum dibuang ke perairan. *Constructed wetland* (CW) merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah yang efektif, efisien, dan tidak membutuhkan biaya besar.

Pada penelitian ini menggunakan sistem *subsurface flow constructed wetlands* dengan aliran *batch* dan *intermittent*. *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* merupakan tumbuhan yang telah terbukti mampu mendegradasi pencemar organik dalam *wetland* alami. Air limbah yang akan digunakan terdiri dari limbah rebusan, rendaman, dan campuran. Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini diisi dengan media pasir sebagai medium utama dan kerikil sebagai media penyangga. Penelitian pendahuluan yang dilakukan berupa aklimatisasi tumbuhan dan *range finding test* untuk menentukan konsentrasi limbah cair yang akan digunakan pada uji *phytotreatment*. Uji *phytotreatment* dengan sistem aliran *batch* dilakukan selama 20 hari dan dengan sistem aliran *intermittent* dilakukan selama 21 hari. Analisis dilakukan terhadap parameter utama dan parameter monitor. Parameter utama, yaitu meliputi BOD, COD, dan TSS sedangkan parameter monitor, yaitu pH, suhu, dan morfologi tumbuhan.

Pada *range finding test* (RFT) menunjukkan bahwa *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* bisa bertahan hidup pada konsentrasi 10% di setiap jenis limbah cair tempe. Pada penelitian utama menunjukkan *Cyperus rotundus* memberikan efisiensi terbesar pada semua variasi jenis limbah dengan aliran sistem *batch* dan *intermittent*. Efisiensi removal BOD, COD, TSS menggunakan SSF-CWs aliran *batch* pada limbah rebusan sebesar 81%, 69%, 47%; pada limbah rendaman sebesar 82%, 76%, 43%; dan pada limbah campuran sebesar 81%, 68%, 40%. Efisiensi removal BOD, COD menggunakan SSF-CWs aliran *intermittent* pada limbah rebusan 59%, 37%; pada limbah rendaman sebesar 66%, 41%; pada limbah campuran sebesar 68%, 33%.

**Kata kunci:** *Subsurface Flow Constructed Wetlands*, Limbah Cair Industri Tempe, *Cyperus rotundus*, *Batch*, *Intermittent*.

# **THE ANALYSIS ABILITY OF *CYPERUS ROTUNDUS* DAN *SCIRPUS GROSSUS* IN PROCESSING LIQUID WASTE OF TEMPE USED *SUBSURFACE FLOW* *WETLANDS (SSF-CWs) SYSTEM***

NAME : DORLINCA SIMAMORA  
NRP : 3313100055  
DEPARTMENT : ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
ACADEMIC ADVISOR : IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T.,  
Ph.D

## **ABSTRACT**

Most of *Tempe* (fermented soybean cake) industry throwing their waste directly into the water without pre-treatment. Those liquid waste contain some suspended and dissolved solids that make water contaminated, so before those waste put into the water, needed to decrease the concentration of the solid pollutant. Constructed wetland (CW) is one of waste treatment alternatives that is effective, efficient, and does not require large cost.

In this research uses subsurface flow constructed wetlands system with batch and intermittent flow. *Cyperus rotundus* and *Scirpus grossus* are plants that have been shown to degrade organic pollutants in natural wetland. Wastewater to be used consists of waste stew, marinade, and mixture. The reactor used in this study is filled with sand media as the main medium and gravel as a buffer medium. Preliminary research conducted in the form of plant acclimatization and range finding test to determine the concentration of liquid waste that will be used in phytotreatment test. Phytotreatment test with batch flow system was carried out for 20 days and with intermittent flow system performed for 21 days. The analysis is performed on the main parameters and monitor parameters. The main parameters, which include BOD, COD, and TSS while monitor parameters, namely pH, temperature, and plant morphology.

In the range of finding test (RFT) showed that *Cyperus rotundus* and *Scirpus grossus* could survive at 10% concentration in each type of tempe liquid waste. In the main study showed



*Cyperus rotundus* gave the greatest efficiency in all variations of waste types with batch and intermittent system flow. The efficiency of BOD, COD, TSS removal using SSF-CWs batch flow on waste cooking is 81%, 69%, 47%; in the immersion wastes by 82%, 76%, 43%; and on mixed waste of 81%, 68%, 40%. BOD removal efficiency, COD uses SSF-CWs intermittent flow in 59%, 37%; in 66%, 41% of the bath waste; on mixed waste of 68%, 33%.

**Keywords:., *Cyperus rotundus*, Industrial Liquid Waste Of Tempe, Subsurface Flow Constructed Wetlands, Batch, intermittent.**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Tuhan Yesus Kristus karena atas Rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir Dengan Judul “*Uji Kemampuan Cyperus Rotundus Dan Scirpus Grossus Dalam Mengolah Limbah Cair Tempe Dengan Sistem Subsurface Flow Wetlands (Ssf-Cws)*”

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan
2. Ibu Ir. Atiek Moesriati, M. Kes., Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D, Ibu Harmin Sulistyaningtitah, ST., MT., Ph.D selaku dosen penguji tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya
3. Keluarga saya yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir saya
4. Ibu Hurun In, Bapak Hadi Sutrisno selaku laboran Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu dan memfasilitasi ketika di laboratorium
5. Uridna, Chusna, Yuridna, Martha, Rosalina, Nadya, Mas Setyo, Marissa, dan teman-teman angkatan 2013 yang sangat membantu dalam menyelesaikan tugas akhir saya ini
6. Lophita, Renova, Habema, Suhunan, Ramosan, dan Tomson yang selalu memberi dukungan untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	ii
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Industri Tempe.....	7
2.2 Proses Produksi Tempe dan Limbah yang dihasilkan .....	7
2.3 Karakteristik Limbah Cair Industri Tempe .....	10
2.4 Pengolahan Limbah Secara <i>Phytotreatment</i> .....	11
2.5 Tumbuhan <i>Cyperus rotundus</i> .....	13
2.6 Tumbuhan <i>Scirpus grossus</i> .....	14
2.7 Penelitian Terdahulu .....	15
2.8 <i>Phytotreatment</i> dengan Sistem Batch dan Intermittent..	16
2.9 Constructed Wetland .....	17
2.10 Karakteristik Sistem Aliran Bawah Permukaan (SSF <i>Wetland</i> ) .....	18
BAB 3. METODE PENELITIAN .....	23
3.1 Deskripsi Umum .....	23
3.2 Kerangka Penelitian.....	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	35
4.1 Uji Karakteristik Limbah .....	35
4.2 Tahap Propagasi Tumbuhan .....	35
4.3 Tahap Aklimatisasi.....	41

4.4 Range Finding Test (RFT).....	42
4.5 Uji <i>Phytotreatment</i> Limbah Cair Tempe .....	47
4.5.1 Analisis Parameter dengan Aliran <i>Batch</i> .....	56
4.5.2 Analisis Parameter dengan Aliran <i>Intermittent</i> .....	80
4.5.3 Sistem Aliran <i>Batch</i> dan <i>Intermittent</i> .....	101
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	114
5.1 Kesimpulan.....	114
5.2 Saran .....	114
Daftar Pustaka .....	116
Lampiran A .....	121
Lampiran B .....	125
Lampiran C .....	163
BIOGRAFI PENULIS .....	167



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pembuatan Tempe.....	9
Gambar 2.2 <i>Cyperus rotundus</i> .....	14
Gambar 2.3 <i>Scirpus grossus</i> .....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian .....	26
Gambar 3.2 Reaktor SSF Tampak Atas.....	28
Gambar 3.3 Reaktor SSF Potongan A-A .....	29
Gambar 3.4 Reaktor SSF Potongan B-B .....	29
Gambar 4.1 <i>Pengamatan</i> Karakteristik Fisik <i>Cyperus rotundus</i> .....	36
Gambar 4.2 Tunas Baru <i>Cyperus rotundus</i> .....	37
Gambar 4.3 Pertumbuhan tinggi <i>Cyperus rotundus</i> .....	37
Gambar 4.4 Jumlah Daun <i>Cyperus rotundus</i> .....	38
Gambar 4.5 <i>Pengamatan</i> Fisik <i>Scirpus grossus</i> .....	38
Gambar 4.6 Tunas Baru <i>Scirpus grossus</i> .....	39
Gambar 4.7 Pertumbuhan Tinggi <i>Scirpus grossus</i> .....	39
Gambar 4.8 Pertumbuhan Lebar Sisi Batang <i>Scirpus grossus</i> .....	40
Gambar 4.9 Jumlah Daun <i>Scirpus grossus</i> .....	40
Gambar 4.10 Fase Generatif pada <i>Scirpus grossus</i> ditandai dengan Keluarnya Bunga .....	41
Gambar 4.11 Tahap Aklimatisasi Tumbuhan .....	41
Gambar 4.12 Kondisi awal reaktor <i>phytotreatment</i> .....	56
Gambar 4.13 Konsentrasi BOD dalam Limbah Rebusan .....	58
Gambar 4.14 Konsentrasi BOD dalam Limbah Rendaman .....	58
Gambar 4.15 Konsentrasi BOD dalam Limbah Campuran .....	59
Gambar 4.16 konsentrasi COD dalam Limbah Rebusan.....	61
Gambar 4.17 konsentrasi COD dalam Limbah Rendaman.....	62
Gambar 4.18 Konsentrasi COD dalam Limbah Campuran .....	62
Gambar 4.19 Rasio BOD/COD pada Limbah Rebusan .....	65
Gambar 4.20 Rasio BOD/COD pada Limbah Rendaman.....	66
Gambar 4.21 Rasio BOD/COD pada Limbah Campuran.....	66
Gambar 4.22 Konsentrasi TSS pada Limbah Rebusan .....	67
Gambar 4.23 Konsentrasi TSS pada Limbah Rendaman.....	68
Gambar 4.24 Konsentrasi TSS pada Limbah Campuran.....	68
Gambar 4.25 pH Limbah pada reaktor Limbah Rebusan .....	69
Gambar 4.26 pH Limbah pada Reaktor Limbah Rendaman.....	69
Gambar 4.27 pH Limbah pada Reaktor Limbah Campuran.....	70
Gambar 4.28 Suhu Limbah pada Reaktor <i>Cyperus rotundus</i> .....	71

Gambar 4.29 Suhu Limbah pada Reaktor <i>Scirpus grossus</i> .....	72
Gambar 4.30 Suhu Limbah pada Reaktor Tanpa Tumbuhan .....	72
Gambar 4.31 Tinggi <i>Cyperus rotundus</i> .....	73
Gambar 4.32 Jumlah Daun <i>Cyperus rotundus</i> .....	73
Gambar 4.33 Tinggi <i>Scirpus grossus</i> .....	75
Gambar 4.34 Lebar Sisi Batang <i>Scirpus grossus</i> .....	75
Gambar 4.35 Jumlah Daun <i>Scirpus grossus</i> .....	76
Gambar 4.36 Analisis Berat Basah dan Berat Kering <i>Cyperus rotundus</i> Hari 0 .....	77
Gambar 4.37 Berat Basah dan Berat Kering <i>Cyperus rotundus</i> Hari ke 7 .....	78
Gambar 4.38 Berat Basah dan Berat kering <i>Cyperus rotundus</i> Hari ke 21 .....	78
Gambar 4.39 Berat Basah dan Berat Kering <i>Scirpus grossus</i> Hari 0 .....	79
Gambar 4.40 Berat Basah dan Berat Kering <i>Scirpus grossus</i> Hari ke 7 .....	79
Gambar 4.41 Berat Basah dan Berat Kering <i>Scirpus grossus</i> Hari 21 .....	80
Gambar 4.42 Persentasi Removal BOD dalam Limbah Rebusan .....	81
Gambar 4.43 Persentasi Removal BOD dalam Limbah Rendaman.....	81
Gambar 4.44 Persentasi Removal BOD dalam Limbah Campuran.....	82
Gambar 4.45 Persentasi Removal COD dalam Limbah Rebusan .....	84
Gambar 4.46 Persentasi Removal COD dalam Limbah Rendaman.....	84
Gambar 4.47 Persentasi Removal COD dalam Limbah Campuran.....	85
Gambar 4.48 Rasio BOD/COD pada Limbah Rebusan .....	87
Gambar 4.49 Rasio BOD/COD pada Limbah Rendaman .....	87
Gambar 4.50 Rasio BOD/COD pada Limbah Campuran.....	88
Gambar 4.51 Konsentrasi TSS pada Limbah Rebusan .....	88
Gambar 4.52 Konsentrasi TSS pada Limbah Rendaman .....	89
Gambar 4.53 Konsentrasi TSS pada Limbah Campuran.....	89
Gambar 4.54 pH Limbah pada Reaktor Limbah Rebusan .....	90
Gambar 4.55 pH Limbah pada Reaktor Limbah Rendaman .....	91



Gambar 4.56 pH Limbah pada Reaktor Limbah Campuran.....	91
Gambar 4.57 Suhu Limbah pada Reaktor <i>Cyperus rotundus</i> .....	92
Gambar 4.58 Suhu Limbah pada Reaktor <i>Scirpus grossus</i> .....	92
Gambar 4.59 Suhu Limbah pada Reaktor Tanpa Tumbuhan .....	93
Gambar 4.60 Tinggi <i>Cyperus rotundus</i> .....	95
Gambar 4.61 Jumlah Daun <i>Cyperus rotundus</i> .....	95
Gambar 4.62 Tinggi <i>Scirpus grossus</i> .....	96
Gambar 4.63 Lebar Sisi Batang <i>Scirpus grossus</i> .....	97
Gambar 4.64 Jumlah Daun <i>scirpus grossus</i> .....	97
Gambar 4.65 Berat basah dan Berat Kering <i>Cyperus rotundus</i> Hari 0 .....	98
Gambar 4.66 Berat Basah dan Berat Kering <i>Cyperus rotundus</i> Hari ke 7 .....	99
Gambar 4.67 Berat Basah dan Berat Kering <i>Cyperus rotundus</i> Hari ke 21 .....	99
Gambar 4.68 Berat Basah dan Berat Kering <i>Scirpus grossus</i> Hari 0 .....	100
Gambar 4.69 Berat Basah dan Berat Kering <i>scirpus grossus</i> Hari 7 .....	100
Gambar 4.70 Berat Basah dan Berat Kering <i>Scirpus grossus</i> Hari ke 21 .....	100

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Review Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel 2.2 Karakteristik Media dalam SSF <i>Wetlands</i> .....	19
Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Limbah Cair Tempe.....	35
Tabel 4.2 Penurunan BOD dengan Sistem <i>Batch</i> .....	60
Tabel 4.3 Penurunan COD dengan Sistem <i>Batch</i> .....	63
Tabel 4.4 Penurunan TSS dengan Sistem <i>Batch</i> .....	67
Tabel 4.5 Hasil Analisis BOD .....	102
Tabel 4.6 Hasil Analisis COD .....	102
Tabel 4.7 Reaktor pada Uji <i>Phytotreatment</i> Sistem Aliran <i>Batch</i> Hari ke-20.....	103
Tabel 4.8 Reaktor pada Uji <i>Phytotreatment</i> Sistem Aliran <i>Intermittent</i> Hari ke-21.....	105

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tempe sudah diakui mempunyai peran yang besar dalam usaha meningkatkan gizi masyarakat terutama golongan menengah kebawah. Sehingga Industri tempe tradisional sudah banyak dikembangkan dan dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia. Namun air limbah dari pembuatan tempe tersebut belum diolah dengan benar, sebagian besar industri pembuatan tempe, hanya membuang limbah cairnya di sungai atau saluran-saluran air. Pembuangan air limbah industri tempe belum disesuaikan dengan instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Hal ini menyebabkan terganggunya kesehatan dan kelangsungan hidup hewan air. Akibat dari air limbah tersebut adalah kadar oksigen dalam air berkurang dan timbulnya bau. Pada dasarnya, limbah tempe dibedakan menjadi dua jenis, yaitu padat dan cair (Winda dan Suharto, 2015).

Industri tempe skala rumah tangga merupakan salah satu industri mikro yang banyak dijumpai di masyarakat. Produksi tempe ini banyak dilakukan di daerah perumahan serta lingkungan pemukiman penduduk. Namun, saat ini masih banyak dari industri tersebut belum memiliki sistem pengolahan limbah yang baik. Seperti halnya pada salah satu industri tempe skala rumah tangga di daerah Rungkut, Surabaya. Limbah cair yang diperoleh sebagai hasil sampingan pembuatan tempe jika tidak dikelola dengan baik dan hanya langsung dibuang ke perairan akan merusak kualitas air tanah, mengakibatkan timbulnya bau yang tidak sedap, serta memicu tumbuhnya berbagai bakteri patogen.

Salah satu cara untuk mengetahui seberapa jauh beban pencemaran pada air limbah adalah dengan mengukur BOD (*Biological Oxygen Demand*), dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi senyawa organik yang ada dalam limbah. COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi (Alaerts dan Santika, 1984).

Industri tempe skala rumah tangga di wilayah Rungkut, Surabaya menghasilkan air limbah dari berbagai proses pembuatannya melebihi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Rata-rata konsentrasi BOD, COD, TSS, dan pH air limbah tempe mencapai 13.158 mg/L, 26.000 mg/L, 1.190 mg/L, 4,8 untuk limbah rendaman; 19.048 mg/L, 36.000 mg/L, 1.340 mg/L, 4,76 untuk limbah rebusan; 17.021 mg/L, 32.000 mg/L, 1,275 mg/L, 4,62 untuk limbah campuran.

Salah satu pengolahan air limbah dengan konstruksi sederhana tanpa peralatan dan mesin, relatif murah biaya operasional dan perawatannya adalah dengan menggunakan tanaman air dalam sistem *sub-surface flow constructed wetlands* (SSF CWs). *Constructed wetland* adalah salah satu teknologi yang diterapkan dengan sistem lahan basah atau rawa buatan untuk pengolahan air limbah yang menggunakan pendekatan baru untuk menurunkan pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan tanaman air dan mikroorganisme. Proses pengolahan air tercemar pada rawa buatan merupakan sistem yang termasuk pengolahan alami, dimana terjadi aktivitas pengolahan secara sedimentasi, filtrasi, transfer gas, adsorpsi, pengolahan kimiawi dan biologis karena adanya aktivitas mikroorganisme dalam media dan tanaman. *Constructed wetland* mempunyai kapasitas buffer yang luas dan lumpur yang dihasilkan sedikit serta stabil. Selain itu pada sistem *constructed wetland* dengan sistem *subsurface flow* ini tidak beresiko langsung terhadap potensi timbulnya nyamuk karena ditutup dengan pasir (Abdulgani, dkk, 2014).

Pengolahan limbah dengan menggunakan *constructed wetland* sudah banyak dilakukan. Pada penelitian Abdulgani, dkk (2014) pengolahan limbah cair industri kerupuk dengan menggunakan tanaman *Typha angustifolia* dengan penurunan kandungan BOD 94,17%, dan COD 94,87% TSS 84,71%. Pada penelitian Supradata (2005) pengolahan limbah domestik menggunakan tanaman hias *Cyperus alternifolius* dengan penurunan kandungan BOD 94,93%, COD 93,92%, TSS 91,43%. Pada penelitian Muhajir (2013) penurunan limbah cair BOD dan COD pada industri tahu menggunakan tanaman cattail (*Typha Angustifolia*) dengan penurunan kandungan BOD 20%, COD 30%, dan TSS 18%.

Dalam menggunakan CWs sebagai alternatif pengolahan, perlu ditentukan jenis tumbuhan yang tepat untuk meningkatkan efisiensi pengolahan. Salah satu jenis tumbuhan yang merupakan jenis tumbuhan rawa, seperti *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*. Tumbuhan *Cyperus rotundus* dalam Amalia (2013) mampu menurunkan BOD lindi 44,95% - 82,65% dan COD 53,90% - 73,38%. Berdasarkan penelitian Indah (2010) tumbuhan *Scirpus grossus* mampu menurunkan polutan pada limbah cair hotel dengan menyisihkan parameter pencemar COD, BOD, dan TSS dengan persentase penyisihan berturut-turut sebesar 86,94% - 97,3%; 78,38% - 98,16% dan 77,51% - 95,42%.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi pengolahan limbah cair tempe menggunakan *subsurface constructed wetlands* dengan tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*. Variabel yang digunakan adalah jenis sistem aliran wetland yaitu sistem *batch* dan sistem *intermittent*. Untuk mendapatkan perbandingan efisiensinya, parameter kualitas effluen yang diukur adalah BOD, COD, rasio BOD/COD, TSS, pH, suhu, dan morfologi tumbuhan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka diketahui bahwa tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* memiliki kemampuan untuk menurunkan polutan pada air limbah. Namun, kedua tumbuhan ini belum pernah dimanfaatkan untuk menurunkan kontaminan pencemar pada limbah cair tempe. Pemanfaatan kedua tumbuhan ini dalam sistem *subsurface flow constructed wetlands* (SSF-CWs) dengan aliran *batch* dan *intermittent* belum diketahui.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan perbandingan efisiensi penyisihan BOD, COD, dan TSS menggunakan sistem SSF-CWs dengan menggunakan aliran *batch* dengan

- menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*
2. Menentukan perbandingan efisiensi penyisihan BOD, COD, dan TSS menggunakan sistem SSF-CWs dengan menggunakan aliran *intermittent* dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*.

#### 1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian akan dilaksanakan mulai bulan Februari-Juni 2017. Analisis data dan laporan hasil penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2017.
2. Air limbah yang digunakan untuk penelitian ini merupakan air limbah tempe.
3. Parameter yang akan diuji adalah BOD, COD, dan TSS sebagai parameter utama, serta suhu, pH, analisis morfologi tumbuhan
4. Variabel yang digunakan adalah variasi tumbuhan, variasi aliran dan variasi sumber limbah dari proses pembuatan tempe.
  - a. Variasi tumbuhan: *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*
  - b. Variasi aliran: sistem batch dan intermittent
  - c. Variasi sumber limbah : Limbah rendaman, limbah rebusan dan limbah campuran.
5. Dilakukan penelitian pendahuluan yaitu propagasi tumbuhan dan aklimatisasi (pengadaptasian tumbuhan uji) selama tumbuhan mengalami perubahan bentuk serta tahapan *range finding test* berdasarkan dari hasil lamanya aklimatisasi.



6. Reaktor yang digunakan pada penelitian ini berupa 18 *subsurface flow wetlands* (SSF-wetlands) dengan 2 reaktor sebagai reaktor uji. *Subsurface flow wetlands* yang digunakan pada penelitian ini memiliki panjang 42 cm, lebar 23 cm, dan kedalaman 30 cm.
7. Media tanam yang digunakan berupa kerikil, pasir, dan tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*.

## 1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai teknologi sederhana yang tepat untuk mengolah air limbah industri tempe skala rumah tangga dengan memanfaatkan *subsurface flow wetlands* dengan tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*.
2. Memberikan pengetahuan tentang pengolahan limbah menggunakan *subsurface flow constructed wetland* dengan aliran *batch* maupun dengan aliran *intermittent*.
3. Menjadi referensi dasar untuk penelitian selanjutnya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB 2.**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Industri Tempe**

Tempe merupakan makanan yang digemari masyarakat, baik masyarakat kalangan bawah hingga atas. Keberadaannya sudah lama diakui sebagai makanan sehat, bergizi dan harganya murah. Hampir di tiap kota di Indonesia dijumpai industri tempe. Umumnya industri tempe termasuk ke dalam industri kecil yang dikelola oleh masyarakat dan proses pembuatan tempe masih sangat tradisional dan banyak memakai tenaga manusia. Bahan baku utama yang digunakan adalah kedelai.

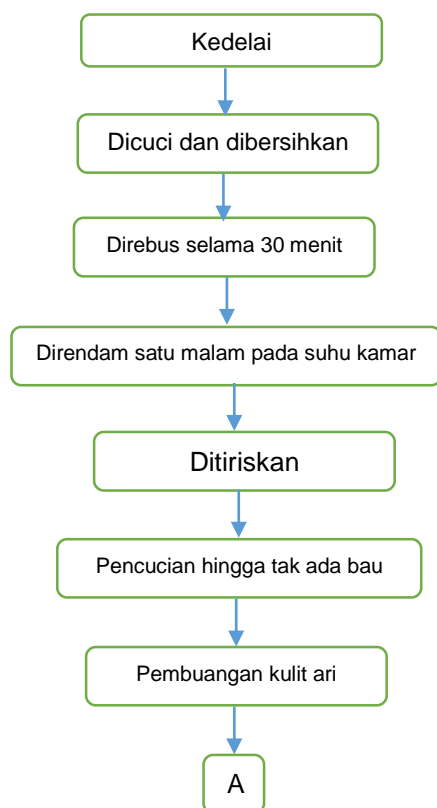
#### **2.2 Proses Produksi Tempe dan Limbah yang dihasilkan**

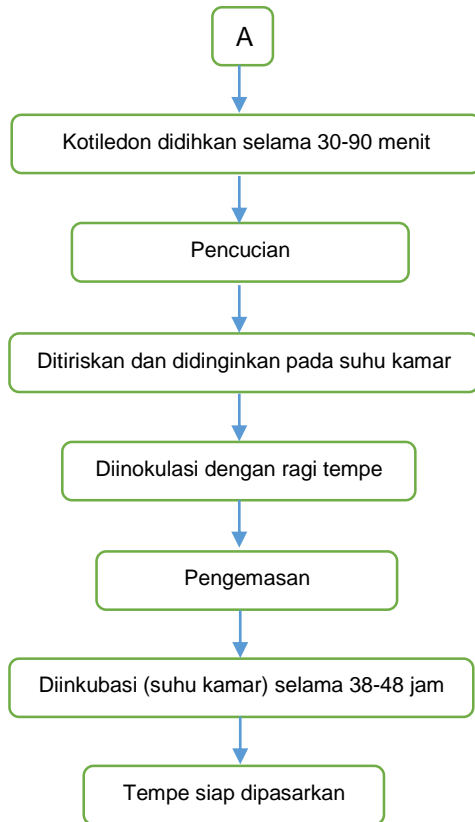
Proses produksi tempe, memerlukan banyak air yang digunakan untuk perendaman, perebusan, pencucian serta pengupasan kulit kedelai. Limbah yang diperoleh dari proses proses tersebut diatas dapat berupa limbah cair maupun limbah padat. Sebagian besar limbah padat yang berasal dari kulit kedelai, kedelai yang rusak dan mengambang pada proses pencucian serta lembaga yang lepas pada waktu pelepasan kulit, sudah banyak yang dimanfaatkan untuk makanan ternak. Limbah cair berupa air bekas rendaman kedelai dan air bekas rebusan kedelai masih dibuang langsung diperaliran disekitarnya. Jika limbah tersebut langsung dibuang keperairan maka dalam waktu yang relatif singkat akan menimbulkan bau busuk dari gas  $H_2S$ , amoniak ataupun fosfin sebagai akibat dari terjadinya fermentasi limbah organik tersebut (Wardoyo,1975). Skema proses pembuatan tempe berdasarkan hasil wawancara dari warga yang memiliki industri tempe rumah tangga dapat dilihat pada gambar 2.1. Langkah-langkah dalam proses pembuatan tempe adalah:

- 1) Kedelai dimasak, setelah dimasak kedelai direndam 1 malam hingga lunak dan terasa berlendir, kemudian kedelai dicuci hingga bersih.
- 2) Kedelai dipecahkan dengan mesin pemecah, hingga kedelai terbelah dua dan kulit kedelai terpisah. Kulit

kedelai dipisahkan dengan cara hasil pemecahan kedelai dimasukkan kedalam air, sehingga kulit kedelai mengambang dan dapat dipisahkan.

- 3) Kedelai kupas dicuci hingga bersih, kemudian dilanjutkan dengan proses peragian dengan cara mencampurkan ragi yang telah dilarutkan dan selanjutnya didiamkan selama kurang lebih 10 menit.
- 4) Kedelai yang telah mengandung ragi ditiriskan hingga hamper kering, kemudian dibungkus dengan daun pisang. Setelah fermentasi selama 2 hari diperoleh tempe (lihat Gambar 2.1)





**Gambar 2.1 Proses Pembuatan Tempe**

*(Sumber : Hasil wawancara)*

Berdasarkan Gambar 2.1, tahap pembuatan tempe yang menghasilkan air limbah yaitu tahap pencucian, perebusan, dan perendaman. Komposisi kedelai dan tempe sebagian besar terdiri dari protein, karbohidrat, dan lemak, maka dalam limbah dapat diduga akan terkandung unsur-unsur tersebut. Dalam banyak hal, akibat nyata dari polutan organik adalah penurunan konsentrasi oksigen terlarut dalam air karena dibutuhkan untuk proses penguraian zat-zat organik.

Pada perairan yang tercemar oleh bahan organik dalam jumlah yang besar, kebutuhan oksigen untuk proses penguraiannya lebih banyak dari pada pemasukan oksigen ke perairan, sehingga kandungan oksigen terlarut sangat rendah. Hal ini sangat membahayakan kehidupan organisme perairan tersebut. Sisa bahan organik yang tidak terurai secara aerob akan diuraikan oleh bakteri anaerob, sehingga akan tercium bau busuk.

### **2.3 Karakteristik Limbah Cair Industri Tempe**

Untuk limbah industri tempe ada dua hal yang perlu diperhatikan yakni karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi padatan total, suhu, warna, dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Suhu buangan industri tempe berasal dari proses pemasakan kedelai. Suhu yang meningkat di lingkungan perairan akan mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lain, kerapatan air, viskositas, dan tegangan permukaan (Said dan Heru, 1999). Limbah cair industri tempe memiliki kualitas bergantung dari proses pembuatan tempe. Apabila saat proses pembuatan menggunakan air dengan kualitas baik, maka kandungan bahan organik pada limbah cenderung dalam konsentrasi rendah (Nurhasan dan Pramudya, 1991). Karakteristik dari limbah cair yang penting pada industri tempe pada umumnya, antara lain:

- 1) Padatan Tersuspensi, yaitu bahan-bahan melayang dan tidak larut dalam air dan berhubungan dengan tingkat kekeruhan air. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi, maka air semakin keruh (Metcalf dan Eddy, 2004)
- 2) *Biocemical Oxygen Demand* (BOD), merupakan parameter untuk mengukur jumlah zat organik terlarut dan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat-zat organik secara biologis (Metcalf dan Eddy, 2004).
- 3) *Chemical Oxygen Demand* (COD), merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh oksidator kimia untuk mengoksidasi seluruh material baik organik maupun anorganik yang terdapat dalam air (Metcalf dan Eddy, 2003).
- 4) Derajat keasaman (pH). Limbah industri tempe memiliki sifat cenderung asam (BPPT, 1997) dengan rentang pH 5-7 (Said

dan wahyono,1999). Pada keadaan asam ini akan terlepas zat-zat yang mudah menguap sehingga limbah cair industri tempe mengeluarkan bau busuk (Husin, 2008).

## **2.4 Pengolahan Limbah Secara *Phytotreatment***

*Phytotreatment* merupakan pemulihan kualitas lingkungan tercemar menggunakan tumbuhan sehingga fungsi alam dapat berjalan sebagaimana mestinya. Pengolahan air, tanah, dan sedimen tercemar menggunakan tumbuhan telah berkembang dan terdata dengan baik. Penelitian terkait kapasitas tumbuhan dalam mengolah media tercemar mulai dilakukan secara intensif (Mangkoediharjo, 2010). Proses *phytotreatment* memanfaatkan tumbuhan untuk menyerap kontaminan melalui akar, melakukan proses translokasi, bioakumulasi, dan proses degradasi kontaminan dalam tubuh tumbuhan. *Phytotreatment* merupakan salah satu bentuk implementasi dan fitoteknologi, yaitu teknologi yang menggunakan tumbuhan untuk mendegradasi, mentransformasi, mengasimilasi, memetabolisasi, dan mendetoksifikasi pencemaran pada tanah, air, dan udara (Yang, 2008).

Penerapan *Phytotreatment* untuk mengolah air limbah memiliki beberapa keuntungan, antara lain: efisiensi removal polutan yang cukup tinggi, hemat energi, biaya perawatan murah, tidak menghasilkan polutan, ramah lingkungan,serta penerapan sekaligus menyebabkan terjadinya pengkonversian terhadap sumber daya alam (Yang, 2008). Teknologi ini potensial untuk diaplikasikan, aman digunakan dengan dampak negatif kecil memberikan efek positif yang multiguna terhadap kebijakan pemerintah, komunitas masyarakat dan lingkungan, biaya relatif rendah, mampu mereduksi volume kontaminan, dan dalam penggunaan *Phytotreatment* adalah biaya operasi yang lebih murah (Fahrudin, 2010).

*Phytotreatment* sangat baik untuk diterapkan pada lahan yang tercemar zat-zat organik dan logam berat. Mekanisme *Phytotreatment* terjadi dalam 5 proses, yaitu: Fitotransformasi, Rhizoremediasi, Fitostabilisasi, Fitoekstraksi, dan Rhizofiltrasi (Zhang, 2010). Menurut Mangkoedihardjo dan Samudro (2010), zat cair dalam lingkungan media tumbuh direspon oleh tumbuhan

melalui beberapa proses, yaitu fitostabilisasi, rizofiltrasi, rizodegradasi, fitoekstraksi, fitodegradasi, dan fitovolatilisasi. Berikut penjelasan dari masing-masing proses:

- **Fitostabilisasi**

Fitostabilisasi adalah proses imobilisasi kontaminan dalam tanah. Perpindahan kontaminan disebabkan terbawa aliran air tanah melalui proses kapiler serta sebagai akibat proses transpirasi tumbuhan. Fitostabilisasi biasanya terjadi pada area yang terkontaminasi logam seperti timbal, kromium, dan merkuri. Fitostabilisasi juga dapat terjadi pada kontaminasi zat organik karena beberapa zat organik dapat melekat dan berkumpul dalam jaringan tubuh tumbuhan, contohnya lignin (Harms dan Langebartels, 1986).

- **Rizofiltrasi**

Rizofiltrasi atau juga dikenal sebagai fitofiltrasi adalah perpindahan dari kontaminan oleh akar tumbuhan melalui proses absorpsi atau presipitasi pada akar tumbuhan. Bagian akar tumbuhan dapat memproduksi kondisi biogeokimia yang mendukung proses presipitasi kontaminan oleh akar tumbuhan. Kontaminan dapat tertinggal pada akar tumbuhan atau naik dan bertranslokasi dalam jaringan tubuh tumbuhan yang lain, tergantung dari jenis kontaminan tersebut, konsentrasi, dan jenis tumbuhan (Pivetz, 2001)

- **Rizodegradasi**

Rizodegradasi adalah proses penguraian kontaminan yang terjadi secara alami akibat peranan akar tumbuhan. Kontaminan organik dalam tanah dapat dipecah atau dimineralisasi menjadi zat-zat anorganik seperti karbon dioksida dan air oleh aktivitas mikroba pada akar tumbuhan. Proses mikrobiologis ini juga dapat terjadi pada kontaminan anorganik serta logam berat (Pivetz, 2001)

- **Fitoekstraksi**

Fitoekstraksi juga dikenal sebagai fitoakumulasi atau fitoabsorpsi. Fitoekstraksi adalah proses penyerapan kontaminan oleh akar tumbuhan yang kemudian diakumulasikan pada jaringan tubuh tumbuhan (Sheron *et al.*, 2009). Kontaminan yang terserap ke



dalam tumbuhan pada umumnya adalah kontaminan terlarut air. Beberapa zat lain yang sulit terlarut air dapat terserap oleh tumbuhan karena adanya eksudat tumbuhan sebagai pelarut organik dan ikut menentukan pelarutan kontaminan

- Fitodegradasi

Fitodegradasi disebut juga sebagai fitotransformasi. Fitodegrasi adalah proses degradasi kontaminan sebagai lanjutan dari proses penyerapan dan proses metabolik yang dilakukan tumbuhan. Fitodegrasi tidak bergantung pada kehadiran mikroorganisme seperti yang terjadi pada rizodegradasi. (Pivetz, 2001).

- Fitovolatilasi

Fitovolatilasi adalah penyerapan dan pelepasan kontaminan yang diserap oleh tumbuhan dapat berubah sebelum lepas ke atmosfer (Pivetz, 2001).

## 2.5 Tumbuhan *Cyperus rotundus*

*Cyperus rotundus* (rumput teki) mempunyai akar serabut yang tumbuh menyamping dengan membentuk umbi yang banyak, tiap umbi mempunyai mata tunas, umbi tidak tahan kering selama 14 hari di bawah sinar matahari maka daya tumbuhnya akan hilang. Batang tumbuh tegak, berbentuk tumpuk atau segitiga. Daun berbentuk garis, mengelompok dekat pangkal batang, terdiri dari 4-10 helai, pelepah daun tertutup tanah, helai daun berwarna hijau mengkilat. Bunga bulir tunggal atau majemuk, mengelompok atau membuka, berwarna coklat, mempunyai benang sari kuning cerah, tangkai putik bercabang tiga dan tingginya dapat mencapai 50 cm. (Amalia, 2013). Taksonomi tumbuhan rumput teki (*Cyperus rotundus*) dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Super Divisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Sub kelas	: Commelinidae

Ordo : Cyperales  
Famili : Cyperaceae  
Genus : Cyperus  
Spesies : *Cyperus rotundus* L.  
(Amalia, 2013)



**Gambar 2.2 *Cyperus rotundus***

## **2.6 Tumbuhan *Scirpus grossus***

*Scirpus grossus* adalah tumbuhan yang potensial sebagai tumbuhan hiperakumulator (Tangahu *et al.*, 2013). *Scirpus grossus* pada umumnya hidup di lahan basah (daerah berair), namun dapat pula di daerah tanah yang subur dengan sirkulasi yang baik. Berasosiasi dengan tanaman padi. Dalam penelitian Yasril (2009) didapatkan hasil bahwa *Scirpus grossus* mampu mereduksi konsentrasi BOD dan COD yang terdapat dalam limbah cair hingga 90%.

Tumbuhan *Scirpus grossus* termasuk dalam suku *Cyperaceae* ini dikenal dengan nama lain seperti, basiang, mansiang, mansiro daun, walingi, wlingian. Tumbuhan ini mempunyai akar rimpang, tumbuh pada daerah wetland-wetland yang tergenang air tawar, seperti kolam dan sawah, tumbuh baik pada dataran rendah sampai ketinggian 800 m dpl dengan tinggi

tanaman antara 0,80 – 2 meter, bentuk batangnya bersegi tiga. Tumbuhan ini sering ditemukan dalam jumlah besar secara berkelompok (Heyne, 1987). Taksonomi *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Kingdom : *Plantae*  
Filum : *Tracheophyta*  
Kelas : *Liliopsida*  
Ordo : *Cyperales*  
Famili : *Cyperaceae*  
Genus : *Scirpus*  
Spesies : *grossus*  
(Gupta, 2011)



**Gambar 2.3 *Scirpus grossus***

*Sumber: Tangahu et al., 2010*

## **2.7 Penelitian Terdahulu**

Terdapat penelitian terdahulu tentang pengolahan air limbah menggunakan *constructed wetland*, *Cyperus rotundus*, dan *Scirpus grossus* yang menjadi landasan dalam penelitian ini. Ringkasan hasil studi penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Review Penelitian Terdahulu**

Referensi	Jenis Limbah	Parameter	Removal	Tumbuhan
Indah, dkk (2010)	Limbah Cair hotel	COD, BOD, TSS	Efisiensi removal COD: 97,3%, Efisiensi removal BOD: 98,16%, Efisiensi removal TSS: 95,42%	Scirpus grossus
Gustari (2004)	Limbah cair industri karet	BOD, COD, TSS, amonik total, Nitrogen total	Efisiensi removal COD: 96,74% Efisiensi removal BOD: 97,94% Efisiensi removal TSS: 92,31%	Scirpus grossus
Fandya, A., dan Soewondo P. (2011)	Air Sodekan Sungai	BOD, COD, TSS	Efisiensi removal COD: 89,7%; Efisiensi removal BOD: 86,9%; Efisiensi removal TSS: 95,5%	Scirpus grossus
Kurnia, R. dkk (2014)	Lindi	BOD dan COD	Efisiensi removal COD: 72,69%; Efisiensi removal BOD: 75,69%;	Cyperus rotundus L.

## 2.8 Phytotreatment dengan Sistem Batch dan Intermittent

Terdapat beberapa sistem aliran yang dapat digunakan dalam *phytotreatment*, contohnya dengan sistem *batch* dan sistem pemaparan secara intermittent. Sistem batch adalah sistem

dimana tidak terjadi aliran dalam suatu reaktor. Sehingga tidak adanya influen maupun effluen di dalamnya. Dengan pola aliran curah (*batch*), maka konsentrasi reaktan/polutan akan berkurang terhadap fungsi jarak, namun akan digantikan oleh fungsi waktu (Supradata, 2015). Fungsi waktu dapat dinyatakan dalam HRT (td atau waktu pemaparan).

Pemaparan secara *intermittent* adalah pemberian air limbah (*flooding*) dalam reaktor dengan adanya jeda waktu dimana reaktor dibiarkan kering dengan tidak diberinya air limbah (*drying*). *Flooding* dengan memasukkan air ke dalam reaktor dalam kondisi lubang outlet ditutup. Keadaan *flooding* dilakukan dengan reaktor diberi air limbah, kemudian air ditahan dalam reaktor selama variasi periode *flooding* (1 atau 2 hari). *Drying* dengan membuka lubang outlet dan tidak ada air yang dimasukkan ke reaktor. Keadaan *drying* dilakukan dengan mengeluarkan air dalam reaktor melalui outlet (Tangahu dan Ningsih, 2016). dengan rotasi terputus-putus, berarti dalam pengoperasiannya memberi jeda waktu kering pada reaktor tanpa pemberian air limbah dalam masa operasi. Prinsip pemaparan secara *Intermittent* adalah pemberian limbah sampai tinggi genangan yang diinginkan dengan waktu pemberian limbah yang telah ditentukan. Setelah itu pemberian limbah dihentikan sampai genangan di reaktor habis. Setelah genangan habis reaktor diiri kembali (Taufik, 2013). Berdasarkan Poach dan Hunt (2007), Pemaparan secara *intermittent* ini dengan menerapkan siklus *flooding* and *drying*. Sistem ini mampu meningkatkan penyisihan COD dan nitrogen dibandingkan dengan pengoperasian secara kontinyu. Walaupun pemaparan secara *intermittent* tidak mampu meningkatkan penyisihan fosfor (Tanner *et al.*, 1999). Sistem pemaparan ini mampu meningkatkan DO dalam media secara signifikan (Kadlec dan Wallace, 2009).

## 2.9 Constructed Wetland

Menurut Hammer dan Bastian (1989), bahwa suatu lahan dapat dikatakan sebagai Wetlands adalah lahan dapat memenuhi salah satu atau lebih dari tiga kondisi berikut.

1. Area yang tergenangi air yang dapat mendukung kehidupan tumbuhan air sejenis hidrofita paling tidak secara periodik.

2. Lahan yang berada dalam keadaan yang cukup basah untuk periode yang cukup panjang sehingga menimbulkan keadaan anaerob
3. Lahan yang terdiri dari media bukan tanah, seperti pasir, kerikil dan batu yang jenuh dengan air atau ditutupi genangan air yang dangkal baik permanen maupun dalam beberapa waktu tertentu.

Lahan basah buatan (*Constructed wetlands*) yang dikembangkan pada saat ini adalah sistem aliran permukaan (*Free Water Surface Flow Constructed Wetlands*) dan sistem aliran bawah permukaan (*Sub-Surface Flow Constructed Wetlands*) atau sering dikenal dengan sistem SSF-*Wetlands* (Leady, 1997). Pada *Free Water Surface System* berisi tanah sebagai tempat hidup tumbuhan yang hidup pada air tergenang (*emerge plant*) dengan kedalaman 0,1-0,6 m (Metcalf & Eddy, 1993). Pada sistem ini limbah cair melewati permukaan tanah. Pengolahan limbah terjadi ketika air limbah melewati akar tumbuhan, kemudian air limbah akan diserap oleh akar tumbuhan dengan bantuan bakteri (Crities and Tchobanoglous, 1998)

Sedangkan *Subsurface Flow System* (SSF) merupakan rawa buatan dengan aliran di bawah permukaan tanah. Air limbah mengalir melalui tumbuhan yang ditanam pada media yang berpori (Novotny dan Olem, 1993).

## **2.10 Karakteristik Sistem Aliran Bawah Permukaan (SSF-*Wetland*)**

Jenis sistem CWs yang dapat menurunkan kadar berbagai kontaminan seperti nitrogen, fosfor, BOD, COD, logam tersuspensi, maupun patogen adalah sistem *Subsurface Flow* (SSF) (Khatiwada *et al.*, 1999; Lee, 2009). Pada sistem ini air tidak menggenang di atas media tanam, tetapi air mengalir di bawah media sehingga memiliki berbagai keuntungan. Menurut Danista (2012), salah satu keuntungan SSF adalah tumbuhan yang dapat beradaptasi lebih bervariasi sehingga dapat digunakan sebagai taman dengan estetika yang baik.

Tangahu dan Warmadewanthi (2001) mengungkapkan bahwa pengolahan air limbah dengan sistem aliran bawah permukaan lebih dianjurkan karena beberapa alasan, yaitu:

- Dapat mengolah limbah domestik, limbah pertanian, dan sebagian limbah industri, termasuk logam berat,
- Efisiensi pengolahan tinggi (80%),
- Biaya perencanaan, pengoperasian, dan pemeliharaan murah, serta tidak membutuhkan keterampilan yang tinggi.
- Faktor yang mempengaruhi kinerja SSF *Wetlands*, yaitu:

a) Media

Media yang digunakan dalam reaktor SSF *Wetlands* secara umum dapat berupa tanah, pasir, batuan, atau bahan-bahan lainnya. Tingkat permeabilitas dan konduktivitas hidrolis media tersebut sangat berpengaruh terhadap waktu detensi air limbah, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antar mikroorganisme dengan air limbah, serta oksigen yang dikeluarkan oleh akar tanaman (Tangahu dan Warmadewanthi, 2001). Tabel 2.2 menunjukkan karakteristik media yang umum digunakan dalam SSF *Wetlands*.

Peranan utama dari media pada SSF *Wetlands* adalah:

- Tempat tumbuh bagi tanaman,
- Media berkembang biaknya mikroorganisme,
- Membantu terjadinya proses sedimentasi,
- Membantu penyerapan (adsorpsi) bau dari gas hasil biodegradasi.

Peranan lainnya adalah sebagai tempat terjadinya proses transformasi kimiawi, tempat penyimpanan bahan-bahan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman.

**Tabel 2.2 Karakteristik Media dalam SSF *Wetlands***

No.	Tipe Media	Diameter Butiran (mm)	Porositas (n)	Konduktivitas Hidrolik (ft/d)
1	Medium Sand	1	0,3	1.640
2	Coarse sand	2	0,32	3.280

3	Gravelly sand	8	0,35	16.400
4	Medium gravel	32	0,4	32.800
5	Coarse gravel	128	0,45	328.000

Sumber: Crites dan Tchobanoglous, 1998

#### b. Tanaman

Jenis tanaman yang sering digunakan untuk untuk SSF *Wetlands* adalah jenis tanaman air atau tanaman yang tahan hidup di air tergenang (*submerged plants* atau *amphibious plants*). Pada umumnya tanaman air tersebut dapat dibedakan menjadi tiga kelompok berdasarkan area pertumbuhannya di dalam air. Adapun ketiga tipe tanaman air tersebut adalah sebagai berikut:

- Tanaman yang mencuat ke permukaan air, merupakan tanaman air yang memiliki sistem perakaran pada tanah di dasar perairan dan daun berada jauh di atas permukaan air.
- Tanaman yang mengambang dalam air, merupakan tanaman air yang seluruh tanaman (akar, batang, daun) berada di dalam air.
- Tanaman yang mengapung di permukaan air, merupakan tanaman air yang akar dan batangnya berada dalam air sedangkan daun di atas permukaan air.

#### c. Mikroorganisme

Mikroorganisme yang diharapkan tumbuh dan berkembang dalam media SSF *Wetlands* adalah jenis heterotropik aerobik karena pengolahan berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan mikroorganisme anaerobik (Tangahu dan Warmadewanthi, 2001). Untuk menjamin kehidupan mikroorganisme tersebut dapat tumbuh dengan baik, maka transfer oksigen dari akar tanaman harus dapat mencukupi kebutuhan untuk kehidupan mikroorganisme. Kandungan oksigen dalam media akan disuplai oleh akar tanaman, yang merupakan hasil samping dari proses fotosintesis tanaman dengan bantuan sinar matahari. Dengan demikian, maka pada siang hari akan lebih banyak terjadi pelepasan oksigen.



Kondisi aerob pada daerah sistem perakaran (*Rhizosphere*) dan ketergantungan mikroorganisme aerob terhadap pasokan oksigen dari sistem perakaran tanaman yang ada dalam SSF-*Wetlands* akan menyebabkan jenis-jenis mikroorganisme yang dapat hidup pada *rhizosphere* tersebut hanya jenis tertentu dan spesifik.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bagwell C.E. *et al.* (1998) terhadap mikroorganisme *rhizosphere* pada akar rumput-rumputan yang terdapat pada daerah rawa (*Wetlands*), telah ditemukan 399 strains yang termasuk dalam familia *Enterobacteriaceae*, *Vibrionaceae*, *Azotobacteraceae*, *Spirillaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Rhizobiaceae*. Sementara itu, dalam penelitian yang dilakukan oleh Grieve *et al.* (2003) dengan analisis DGGE (*Denaturing Gradient Gel Electrophoresis*), disebutkan bahwa komposisi mikroba yang terdapat dalam *effluent Constructed Wetlands* didominasi oleh jenis *Bacillus*, *Clostridium*, *Mycoplasma*, *Eubacterium*, *Nitrobacter*, dan *Nitrosospira*.

#### d. Temperatur

Temperatur air limbah akan berpengaruh pada aktivitas mikroorganisme maupun tanaman sehingga akan mempengaruhi kinerja pengolahan air limbah yang masuk ke bak SSF *Wetlands* yang akan digunakan. Menurut Suriawiria (1996), temperatur akan dapat mempengaruhi reaksi, dimana setiap kenaikan suhu 10°C akan meningkatkan reaksi 2 - 3 kali lebih cepat. Di samping itu, temperatur juga merupakan salah satu faktor pembatas bagi kehidupan mikroorganisme.

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## **BAB 3. METODE PENELITIAN**

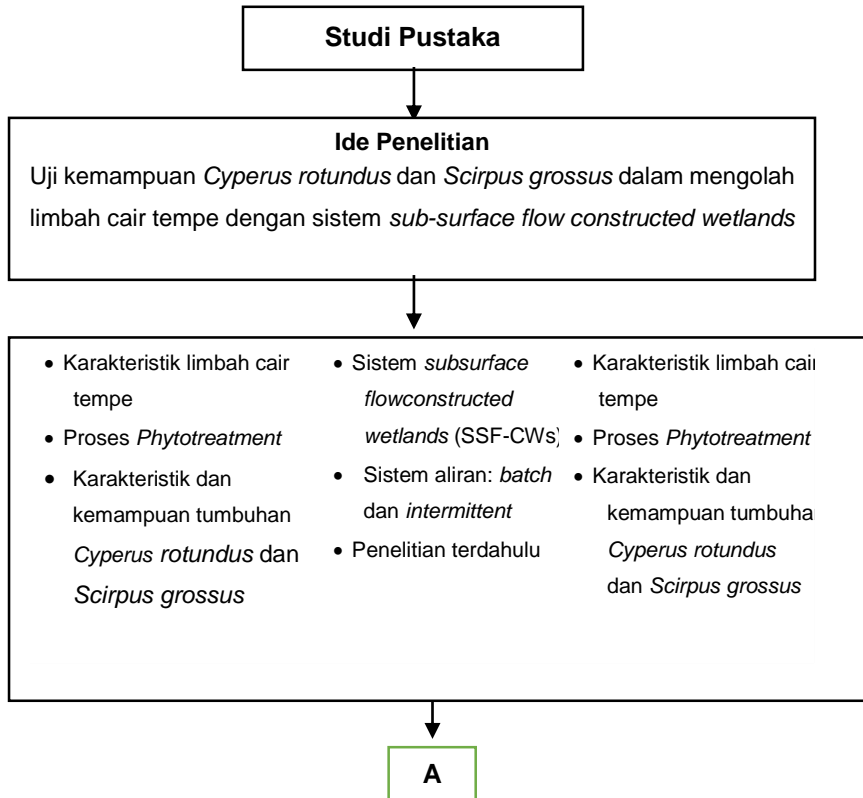
### **3.1 Deskripsi Umum**

Metode penelitian ini digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai kemampuan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* dalam mengolah limbah cair tempe menggunakan sistem *Subsurface Flow Constructed Wetlands* (SSF-wetlands) dengan variasi aliran *batch* dan *intermittent*. Air limbah cair industri tempe yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair tempe dengan konsentrasi yang ditentukan melalui *range finding test*. Kerangka penelitian yang digunakan adalah merumuskan ide penelitian, melakukan studi literatur, melakukan propagasi (perbanyak) tumbuhan, melakukan aklimatisasi tumbuhan, *range finding test* (RFT), uji *phytotreatment*, analisis laboratorium, analisis data hasil penelitian, dan mengambil kesimpulan. Analisis parameter dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan dan Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

Penelitian ini menggunakan reaktor dengan sistem *constructed wetlands* skala laboratorium, menggunakan media berupa kerikil dan pasir silika. Diawal penelitian dilakukan propagasi tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* untuk memperbanyak tumbuhan yang akan digunakan pada tahap *range finding test* dan tahap *phytotreatment*. Tahap *range finding test* menggunakan pot berbahan plastik dengan jumlah tumbuhan yang ditentukan sesuai dengan massa jenis tumbuhan dan ukuran media yang digunakan. Kemudian uji *phytotreatment* digunakan reaktor berbahan semen dengan ukuran 62,5 x 23 x 20. Pada tahap uji *phytotreatment* akan dilakukan analisis laboratorium. Analisis laboratorium yang akan dilakukan antara lain analisis BOD, COD, TSS, suhu, pH, dan berat basah dan berat kering. Pada tahap uji *phytotreatment* ini akan dilakukan selama 20 hari untuk aliran *batch* dan 21 hari untuk aliran *intermittent*.

### 3.2 Kerangka Penelitian

Dasar pemikiran dan rangkaian kegiatan dalam penelitian direpresentasikan melalui kerangka penelitian. Kerangka penelitian merupakan gambaran umum pelaksanaan penelitian yang disusun berdasarkan tahapan pelaksanaan penelitian sehingga penelitian dapat berjalan sistematis dengan tujuan yang jelas. Penyusunan kerangka penelitian didasarkan pada studi literatur yang dilakukan, baik dari jurnal ilmiah, buku teks, maupun laporan tugas akhir yang mendukung pada penelitian ini. Adapun kerangka penelitian digambarkan dalam Gambar 3.1.



A

### Penentuan variabel dan parameter

#### Variabel:

- Jenis tumbuhan (*Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*)
- Sistem aliran: *Batch* dan *Intermittent*
- Jenis Limbah: Limbah rebusan, rendaman, dan campuran

#### Parameter Utama:

- Kandungan BOD
- Kandungan COD
- Rasio BOD/COD
- Kandungan TSS

#### Parameter pendukung:

- pH
- Suhu
- Berat basah
- Berat kering
- Morfologi tumbuhan

### Persiapan Alat dan Bahan

1. Alat: Reaktor, alat ukur, dan peralatan laboratorium
2. Bahan: Limbah cair tempe, tumbuhan, dan reagen untuk analisis parameter

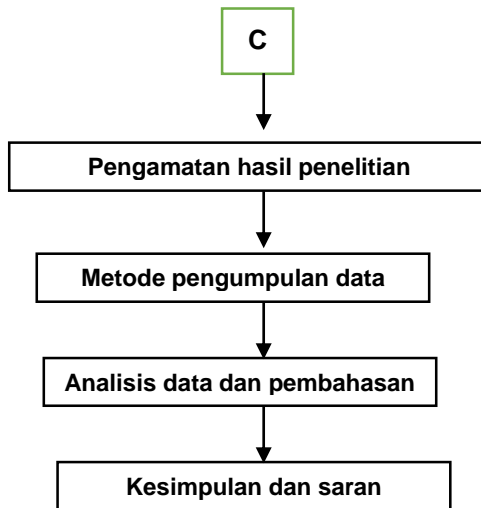
### Penelitian Pendahuluan

1. Propagasi tumbuhan
2. Aklimatisasi tumbuhan
3. Pengambilan dan Analisis limbah industri tempe
4. *Range Finding Test*

### Penelitian Utama

Uji kemampuan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* dalam mengolah limbah cair tempe dengan menggunakan sistem *sub-surface flow constructed wetlands* (SSF-CWs)

C



**Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian**

### **1. Ide Penelitian**

Ide penelitian diperoleh dari permasalahan yang ada, yaitu limbah cair industri tempe yang dibuang tanpa pengolahan yang dapat mengakibatkan pencemaran pada badan air dan tanah. Pengolahan limbah cair tempe perlu dilakukan sebelum dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah ini dapat dilakukan dengan sistem *subsurface flow constructed wetlands*. Penelitian yang dilakukan dengan memanfaatkan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* dengan sistem aliran *batch* dan *intermittent*. Kedua tumbuhan ini termasuk gulma tahunan dan sangat mudah ditemukan di Indonesia. Kedua tumbuhan ini dapat hidup di daerah yang tergenang air dan telah terbukti dapat menurunkan kandungan BOD dan COD limbah. Sehingga kedua tumbuhan ini dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair tempe dengan sistem *subsurface flow constructed wetlands*.

## 2. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mendukung pelaksanaan penelitian. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini berupa jurnal ilmiah, buku teks, paper, dan literatur lain yang mendukung. Studi literatur yang dilakukan berkaitan dengan kondisi eksisting, kondisi ideal, kemampuan *Constructed Wetlands* dengan tipe *subsurface flow constructed wetlands* (SSF-CWs) dalam menurunkan kadar BOD, COD dan TSS dalam limbah cair industri tempe menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*.

## 3. Penentuan Variabel dan Parameter

Variabel merupakan sesuatu yang bisa diberi nilai sedangkan parameter merupakan sesuatu yang bisa diukur. Variabel dan parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

### A. Variabel

Variabel yang digunakan dalam penelitian terdiri dari 3 yaitu jenis tumbuhan, aliran, dan jenis limbah. Jenis tumbuhan yang digunakan adalah *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*. Jenis aliran yang digunakan adalah sistem aliran secara *batch* dan *intermittent*. Jenis air limbah yang digunakan yaitu limbah rebusan, limbah rendaman, limbah campuran.

### B. Parameter Utama

Parameter utama yang diukur adalah konsentrasi BOD, COD, rasio BOD/COD, dan TSS

### C. Parameter Pendukung

Parameter pendukung yang diukur adalah pH, suhu, berat basah, berat kering, dan morfologi tumbuhan.

## 4. Persiapan Alat dan Bahan

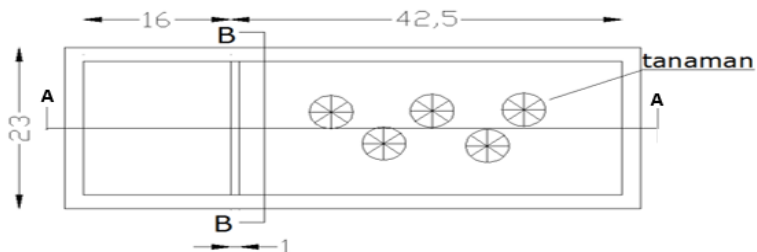
Penelitian ini memerlukan alat dan bahan yang digunakan untuk menunjang penelitian. Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Reaktor yang digunakan pada penelitian ini berupa 18 *subsurface flow constructed wetlands* (SSF-CWs) dengan 2 reaktor sebagai reaktor uji. *Subsurface flow constructed*

*wetlands* yang digunakan pada penelitian ini memiliki panjang 62,5 cm, lebar 23 cm, dan kedalaman 20 cm.

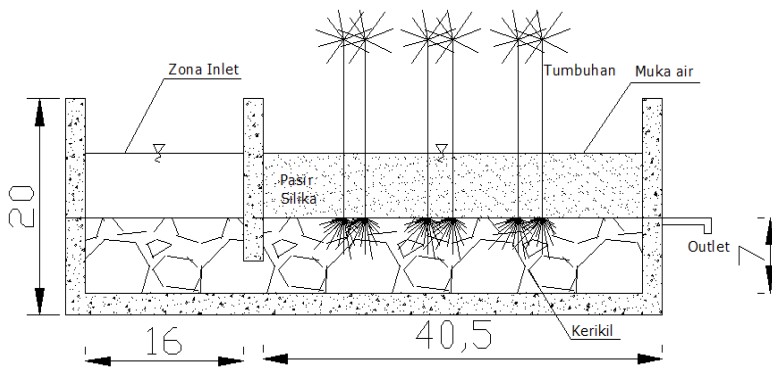
- *Jerry can* atau drum  $\pm 20$  L untuk mengambil sampel limbah serta sarung tangan.
- Peralatan analisis parameter. Adapun peralatan parameter berupa:
  - a) Termometer, untuk mengukur suhu air pada reaktor
  - b) Tabung COD, sebagai tempat analisis limbah cair temporer untuk parameter COD.
  - c) Botol winkler, sebagai tempat analisis limbah cair temporer untuk parameter BOD.
  - d) Erlenmeyer, digunakan untuk menitrasi sampel
  - e) Penumbuk dan mortar, untuk menghaluskan tanah sebelum dilakukan analisis
  - f) Neraca analitik, untuk menimbang berat kering dan berat tanah
  - g) Pipet volumetric, untuk mengambil sampel dari reagen saat dianalisis
  - h) Cawan porselen, untuk wadah tumbuhan dalam menganalisis berat kering
  - i) pH meter, untuk mengukur nilai pH limbah cair temporer
  - j) Oven, untuk menganalisis berat kering tumbuhan
  - k) Penggaris, untuk mengukur tinggi tumbuhan
  - l) Pinset, untuk mengambil sampel tumbuhan

Gambar reaktor *subsurface flow constructed wetland* tampak atas dapat dilihat pada Gambar 3.2. Gambar reaktor SSF potongan A-A dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan reaktor SSF potongan B-B dapat dilihat pada Gambar 3.4.

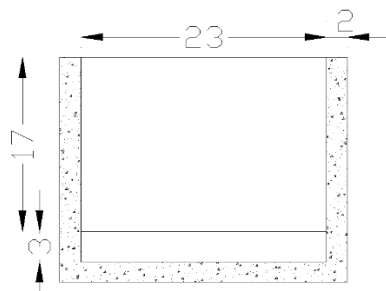


**Gambar 3.2 Reaktor SSF Tampak Atas**





**Gambar 3.3 Reaktor SSF Potongan A-A**



**Gambar 3.4 Reaktor SSF Potongan B-B**

Adapun cara kerja dari reaktor SSF- CWs dengan aliran *batch* yaitu air limbah dimasukkan dari zona inlet yang berisi kerikil. Kemudian air limbah akan mengalir ke zona yang sudah diisi media kerikil, pasir silika, dan tumbuhan, dimana pada zona ini air limbah akan mengalami pengolahan. Air limbah akan diam dalam reaktor selama 20 hari. Selanjutnya air limbah akan dikeluarkan melalui zona outlet yang berada di ujung reaktor.

Cara kerja dari reaktor SSF-CWs dengan aliran *intermittent* yaitu sama halnya dengan aliran *batch*, air limbah dimasukkan dari zona inlet, kemudian mengalir ke zona yang berisi media kerikil, pasir silika, dan tumbuhan. Air limbah diam dalam

reaktor selama 2 hari kemudian dikeluarkan melalui zona inlet. Selanjutnya reaktor dibiarkan kering selama 1 hari.

Sedangkan bahan yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*.
- Limbah cair tempe dari industri rumah tangga dengan konsentrasi limbah yang berbeda-beda.
- Air PDAM untuk pengenceran dalam variasi konsentrasi
- Media tanam berupa pasir dan kerikil.

## 5. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan terdiri dari propagasi tumbuhan, aklimatisasi tumbuhan, sampling dan analisis air limbah, dan melakukan RFT (*range finding test*) seperti tercantum dalam Gambar 3.1.

### A. Propagasi Tumbuhan

Propagasi tumbuhan dilakukan untuk memperbanyak bibit tumbuhan yang diperlukan untuk penelitian. Tahap ini dilakukan minimal selama 1 bulan sampai tumbuhan memiliki ukuran dan bentuk tumbuh secara optimum (Suelee, 2015). Pada tahap ini tumbuhan ditanam dalam kotak reaktor plastik dengan tanah taman dan dilakukan penyiraman rutin menggunakan air PDAM. Selama tahap propagasi tumbuhan diletakkan di *green house* Teknik Lingkungan yang dilengkapi dengan paranet. Fungsi dari paranet adalah supaya tumbuhan tidak terpapar langsung oleh sinar matahari dan terkena intensitas yang cukup. Keadaan ini untuk membantu tumbuhan tumbuh subur dan berkembang biak dengan baik.

### B. Aklimatisasi Tumbuhan

Aklimatisasi tumbuhan dilakukan supaya tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* dapat menyesuaikan diri dengan kondisi dan media yang akan digunakan pada tahap uji *range finding test* (RFT) dan uji *phytotreatment*. Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara meletakkan tumbuhan pada reaktor plastik dengan media yang akan digunakan pada uji *phytotreatment*. Tahap ini dilakukan selama 7 hari dengan media kerikil

dan pasir silika tanpa pencemar dan menggunakan air PDAM. Pada kondisi ini diharapkan tumbuhan dapat beradaptasi dengan karakteristik tumbuh subur (tidak layu dan mati).

C. Pengambilan dan analisis limbah industri tempe.

Limbah cair industri tempe diambil dari salah satu industri tempe skala rumah tangga di daerah Rungkut, Surabaya. Selanjutnya dilakukan analisis kualitas limbah cair industri tempe untuk mengetahui *range* konsentrasi parameter BOD, COD, dan TSS. Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga jenis limbah yaitu limbah rebusan, limbah rendaman, dan limbah campuran.

D. *Range finding test* (RFT)

*Range finding test* yang akan dilakukan mengacu pada pedoman USEPA Ecological Effect Guideline OPPTS 850.4400. *Range finding test* dilakukan dengan membuat variasi konsentrasi air limbah yang akan diujikan ke tumbuhan. Konsentrasi yang dipilih adalah konsentrasi tertinggi dimana tanaman tetap hidup dengan kondisi baik. Variasi konsentrasi yang digunakan adalah *range* konsentrasi yang didapat dari analisis kualitas air limbah. Variasi konsentrasi didapat dengan cara mencampurkan air limbah dengan air PDAM. Variasi yang digunakan minimal 5 konsentrasi dengan 1 kontrol dengan konsentrasi air limbah 0 mg/L. Variasi konsentrasi yang digunakan dengan setiap jenis limbah yaitu 100%, 75%, 50%, 25%, dan 10%.

Pengamatan *range finding test* ini dilakukan selama 7 hari dipilih konsentrasi dimana tumbuhan tetap hidup untuk digunakan pada uji *phytotreatment*.

## 6. Penelitian Utama

Penelitian utama yaitu tahap uji *phytotreatment* menggunakan *subsurface flow constructed wetlands* (SSF-CWs) dengan sistem aliran *batch* dan *intermittent*. Pada tahap ini yang harus dilakukan adalah mempersiapkan limbah tempe sesuai dengan hasil uji RFT pada penelitian sebelumnya. Penelitian dilakukan dengan dengan menyiram setiap reaktor

yang sudah berisi media kerikil dan pasir silika dengan limbah cair tempe. Volume air limbah yang terdapat dalam tiap reaktor adalah 8 liter. Variasi sistem aliran secara *batch* dilakukan dengan air limbah diam dalam reaktor selama 20 hari. Setiap sampling air limbah diambil  $\pm 200$  ml. Sedangkan sistem aliran *intermitten* dilakukan dengan perbandingan siklus *flooding* dan *drying* (F/D). Aliran secara *intermittent* yaitu reaktor diberi air limbah (*flooding*) secara *intermittent* dengan ada jeda waktu dimana reaktor dibiarkan kering tidak diberi air limbah (*drying*). *Flooding* dengan memasukkan air limbah ke dalam reaktor dalam kondisi lubang *outlet* ditutup. Keadaan *flooding* dilakukan dengan reaktor diberi air limbah, kemudian air ditahan dalam reaktor selama periode *flooding* selama 2 hari. *Drying* dengan membuka lubang *outlet* dan tidak ada air yang dimasukkan ke reaktor. Keadaan *drying* dilakukan dengan mengeluarkan air dalam reaktor melalui *outlet*. Reaktor kemudian dibiarkan kosong dari air limbah selama periode *drying* selama 1 hari masa kering. Proses pengaliran air limbah dilakukan begitu seterusnya selama 21 hari.

## **7. Analisis Parameter**

Pengumpulan data dilakukan dari hasil uji penelitian. Data utama yang dibutuhkan adalah data analisis parameter utama berupa kandungan BOD, COD, dan TSS *effluent*. Data pendukung yang dibutuhkan yaitu dari parameter monitor berupa pH, suhu, berat basah, berat kering, dan morfologi tumbuhan.

Pengambilan sampel pada aliran *batch* dilakukan setiap 2 hari sekali sedangkan pengambilan sampel pada aliran *intermittent* dilakukan pada saat *drying* (pengeringan) yaitu pada saat limbah dikeluarkan dari reaktor. Pengambilan sampel dilakukan secara langsung pada saluran *effluent* reaktor.

## **8. Analisis Data dan Pembahasan**

Analisis data dan pembahasan dilakukan pada setiap data dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Data yang sudah terkumpul disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan dalam proses analisis secara deskriptif.

Setelah data tersaji, kemudian dilakukan analisis dan pembahasan mengenai penguraian, penyelidikan, ataupun evaluasi hasil yang sudah diperoleh. Dari adanya analisis tersebut akan diperoleh hasil pengolahan cair tempe dengan menggunakan sistem *subsurface flow constructed wetlands* dengan aliran *batch* dan *intermittent*.

## **9. Kesimpulan dan Saran**

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan akan didapatkan sebuah kesimpulan. Kesimpulan menjawab tujuan penelitian yang hendak dicapai.

Saran merupakan rekomendasi untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya. Tujuan dari rekomendasi tersebut adalah untuk memperbaiki dan menyempurnakan penelitian selanjutnya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB 4.**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Uji Karakteristik Limbah**

Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair tempe pada proses perendaman, perebusan, dan campuran limbah rendaman dan limbah rebudsan. Limbah diambil dari salah satu industri tempe skala rumah tangga di daerah Rungkut. Uji karakteristik air limbah ini digunakan untuk mengetahui kandungan awal limbah sesuai dengan parameter air limbah produksi tempe di Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu air Limbah Hasil uji karakteristik limbah pewarna dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Limbah Cair Tempe**

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisis			Baku Mutu
			Limbah Rendaman	Limbah Rebusan	Limbah Campuran	
1	BOD	mg/L	13.158	19.048	17.021	150
2	COD	mg/L	26.000	36.000	32.000	300
3	TSS	mg/L	1.190	1.340	1.275	100
4	pH	-	4,18	4,76	4,62	6-9

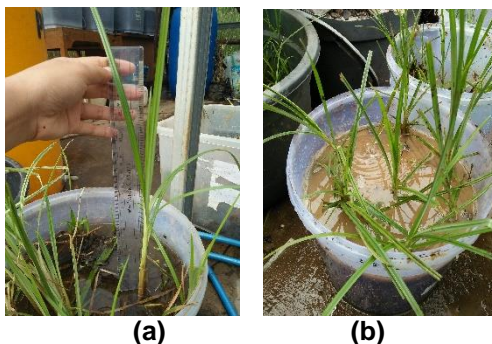
Berdasarkan hasil analisis parameter awal, didapatkan bahwa nilai BOD dan COD limbah cair tempe telah melebihi nilai baku mutu air limbah berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014.

#### **4.2. Tahap Propagasi Tumbuhan**

Tahap propagasi adalah tahap perbanyak tumbuhan yang akan digunakan pada tahap RFT dan *phytotreatment*. selama tahap propagasi dilakukan pengamatan terhadap laju

pertumbuhan tumbuhan dan dibiarkan sampai tumbuh tunas baru (*second generation*). Tunas baru inilah yang nantinya akan digunakan pada tahap *range finding test* (RFT) dan pada penelitian utama (*phytotreatment*). Pengamatan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan *Cyperus rotundus* dilakukan pengamatan secara fisik berupa tinggi tumbuhan dan jumlah daun tumbuhan. Sedangkan pengamatan pada *Scirpus grossus* berupa tinggi tumbuhan, lebar sisi batang dan jumlah daun. Tumbuhan dengan umur dan tinggi yang sama dari hasil pengamatan terhadap laju pertumbuhan ini digunakan pada setiap tahapan penelitian, diharapkan dengan demikian kondisi awal tumbuhan yang digunakan adalah sama (Karenlampi *et al.*, 2000).

Proses pengamatan fisik tumbuhan *Cyperus rotundus* berupa tinggi tumbuhan dan jumlah daun dapat dilihat pada Gambar 4.1.



(a) (b)  
**Gambar 4.1 Pengamatan Karakteristik Fisik *Cyperus rotundus***  
**(a) Tinggi tumbuhan (b) Jumlah daun**

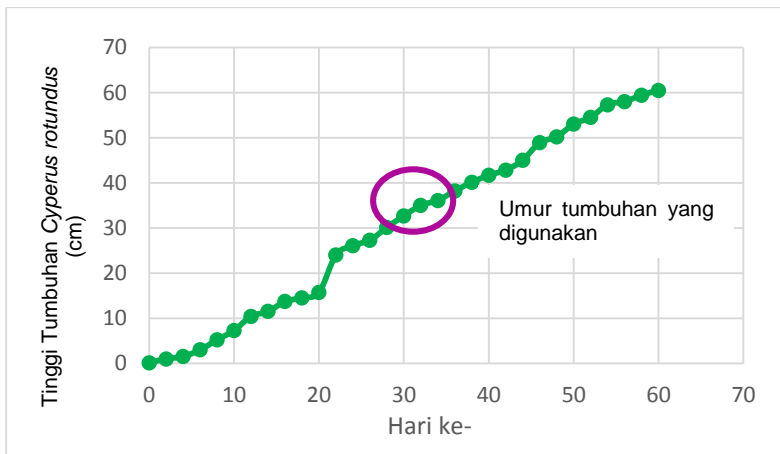
Lama waktu pengamatan terhadap karakteristik fisik *Cyperus rotundus* adalah selama 2 bulan (60 hari). Pada usia 60 hari *Cyperus rotundus* cenderung tidak bertambah tinggi lagi. Hal ini menunjukkan ketinggian maksimum dan cenderung sudah stabil pada usia 60 hari. Berdasarkan pengamatan selama 60 hari, tunas baru muncul setelah 30 hari. Hal ini menandakan 1 hidup siklus *Cyperus rotundus*. Munculnya tunas baru dari tumbuhan ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



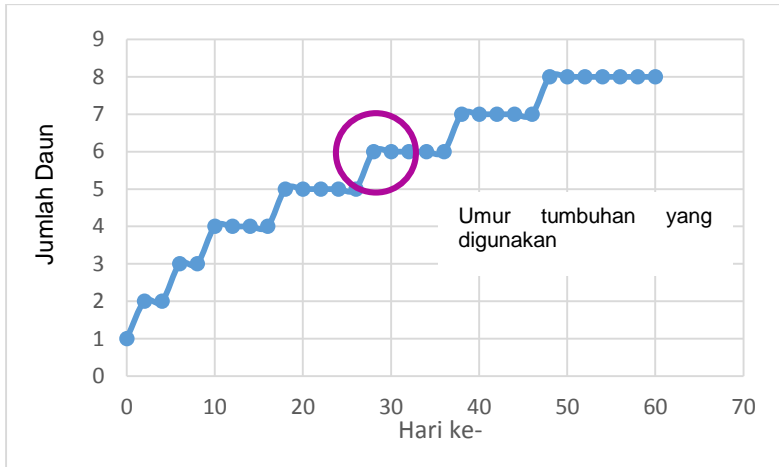


**Gambar 4.2 Tunas Baru *Cyperus rotundus***

Melalui hasil pengamatan pertumbuhan *Cyperus rotundus*, dapat diketahui umur tumbuhan yang digunakan pada tahap *range finding test* dan *phytotreatment*. Tumbuhan *Cyperus rotundus* dipilih yang berumur 1 bulan, dimana *Cyperus rotundus* memiliki tinggi 30-32 cm dan jumlah daun sebanyak 6-8 helai. Pengamatan pertumbuhan tinggi *Cyperus rotundus* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan pengamatan jumlah daun *Cyperus rotundus* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

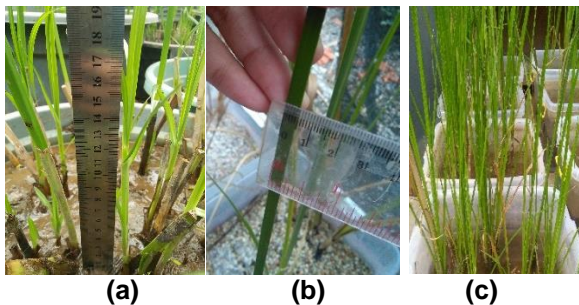


**Gambar 4.3 Pertumbuhan tinggi *Cyperus rotundus***



**Gambar 4.4 Jumlah Daun *Cyperus rotundus***

Pengamatan fisik tumbuhan *Scirpus grossus* berupa tinggi tumbuhan, lebar sisi batang, dan jumlah daun. Proses pengamatan terhadap tinggi tumbuhan, lebar batang, dan jumlah daun dapat dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5 Pengamatan Fisik *Scirpus grossus***  
 (a) Tinggi Tumbuhan (b) Lebar Sisi Batang (c) Jumlah Daun

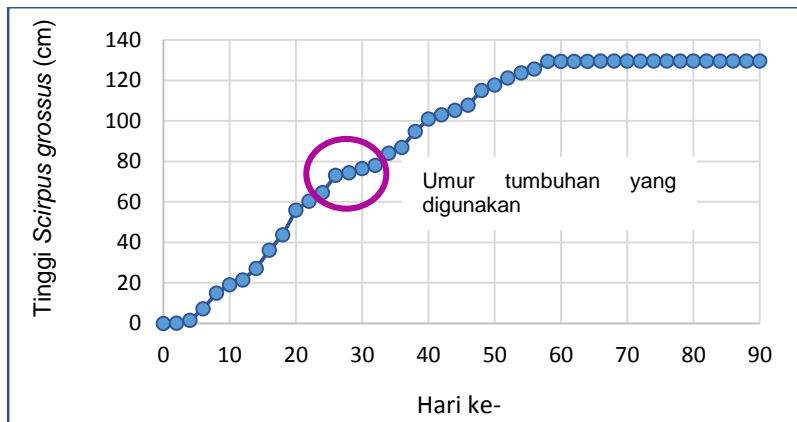
Lama waktu pengamatan terhadap karakteristik fisik *Scirpus grossus* adalah selama 3 bulan (90 hari). Berdasarkan Jinadasa *et al.* (2006), tumbuhan *Scirpus grossus* akan mencapai ketinggian maksimum dan mengarah menuju stabil pada usia

mencapai 90 hari. Selain itu, berdasarkan hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa setelah 90 hari pengamatan, terdapat tunas baru yang muncul setelah 60 hari. Hal ini menandakan 1 hidup siklus *Scirpus grossus*. Munculnya tunas baru tumbuhan ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.

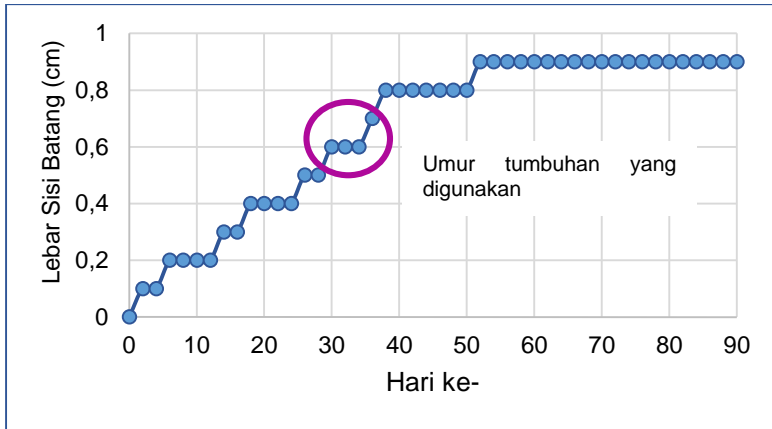


**Gambar 4.6 Tunas Baru *Scirpus grossus***

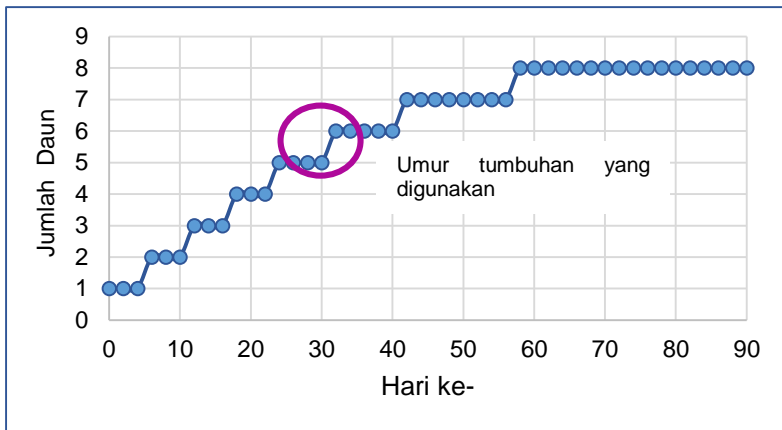
Pengamatan pertumbuhan tinggi *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.7. Pengamatan pertumbuhan lebar sisi batang *Scirpus gossus* dapat dilihat pada Gambar 4.8. Pengamatan jumlah daun *Scirpus grossus* dapat dilihat pada gambar 4.9.



**Gambar 4.7 Pertumbuhan Tinggi *Scirpus grossus***



**Gambar 4.8 Pertumbuhan Lebar Sisi Batang *Scirpus grossus***



**Gambar 4.9 Jumlah Daun *Scirpus grossus***

Berdasarkan hasil pengamatan laju pertumbuhan *Scirpus grossus*, diketahui umur tumbuhan yang digunakan pada *range finding test* dan uji utama *phytotreatment*. Tumbuhan *Scirpus grossus* dipilih yang berumur 1 bulan (pada hari pengamatan ke-30), yaitu pada usia 1 bulan ini *Scirpus grossus* memiliki tinggi 78 cm - 87 cm, lebar tumbuhan 0,5 cm - 0,6 cm dan jumlah daun sebanyak 5 helai - 6 helai. Pemilihan penggunaan tumbuhan pada

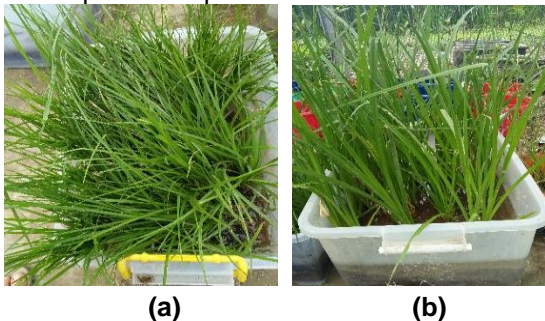
usia 1 bulan ini didasarkan karena tumbuhan ini akan memasuki fase generatif. Diharapkan sebelum memasuki fase generatif, tumbuhan dapat menyerap kontaminan secara optimal. Fase generatif tumbuhan ini pada umur mencapai 2 bulan yang ditandai dengan keluarnya bunga. Fase generatif pada *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.10 Fase Generatif pada *Scirpus grossus* ditandai dengan Keluarnya Bunga**

### **4.3 Tahap Aklimatisasi**

Tahap aklimatisasi tumbuhan dilakukan supaya tumbuhan dapat menyesuaikan dengan kondisi dan media yang digunakan untuk tahap *range finding test* dan uji *phytotreatment*. Proses aklimatisasi ini dilakukan selama 7 hari. Tumbuhan yang hidup dalam keadaan tidak mati dan tidak layu dipilih untuk digunakan pada uji *Range Finding Test* dan uji *phytotreatment*. Proses aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 4.11.



**(a) (b)**  
**Gambar 4.11 Tahap Aklimatisasi Tumbuhan**  
**(a) *Cyperus rotundus* (b) *Scirpus grossus***

#### 4.4 Range Finding Test (RFT)

*Range finding test* (RFT) digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tumbuhan dalam menyerap polutan dalam limbah cair tempe pada konsentrasi tertentu. Tumbuhan yang digunakan dalam RFT adalah tumbuhan hasil aklimatisasi sebelumnya. Hal ini dilakukan supaya tumbuhan sudah beradaptasi dengan media dan lingkungan lokasi penelitian. Tumbuhan yang dipilih untuk RFT memiliki umur yang sama. Hal ini dimaksudkan supaya tumbuhan memiliki kemampuan yang sama untuk bertahan pada paparan limbah cair tempe selama tahap RFT berlangsung.

Variasi konsentrasi yang digunakan dalam tahap RFT ini adalah 0% (kontrol), 10%, 25%, 50%, 75%, dan 100% (v/v). RFT ini menggunakan wadah berupa ember dengan kapasitas 5 L. Volume air limbah yang digunakan sebanyak 1L, media kerikil yang digunakan sebanyak 3000 cm<sup>3</sup>. Tahap ini dilakukan selama 7 hari. Melalui tahap RFT ini diketahui konsentrasi yang tidak memberikan efek kematian pada tumbuhan. Hal yang diamati adalah perubahan yang terjadi pada tumbuhan dengan limbah dan tanpa limbah. Konsentrasi inilah yang nantinya akan digunakan pada uji *phytotreatment*. Penentuan jumlah tumbuhan yang digunakan pada tahap RFT ini berdasarkan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}\text{Massa } \textit{Cyperus rotundus} &= \text{Densitas } \textit{Cyperus rotundus} \times \text{volume media} \\ &= 0,6 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^3 \times 3000 \text{ cm}^3 \\ &= 18 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah } \textit{Cyperus rotundus} &= \frac{\text{massa } \textit{Cyperus rotundus}}{\text{berat basah } \textit{Cyperus rotundus}} \\ &= \frac{18 \text{ gr}}{6,2 \text{ gr}} = 2,9 = 3 \text{ tumbuhan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa } \textit{Scirpus grossus} &= \text{Densitas } \textit{Scirpus grossus} \times \text{volume media} \\ &= 6,27 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^3 \times 3000 \text{ cm}^3 \\ &= 188,1 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah } \textit{Scirpus grossus} = \frac{\text{massa } \textit{Scirpus grossus}}{\text{berat basah } \textit{Scirpus grossus}}$$

$$= \frac{188,1 \text{ gr}}{45 \text{ gr}} = 4,18 = 4 \text{ tumbuhan}$$

Hasil pengamatan tumbuhan selama RFT dapat dilihat pada lampiran B.

Berdasarkan pengamatan fisik *cyperus rotundus* pada limbah rebusan selama 7 hari dapat dilihat bahwa hari pertama pada konsentrasi 10%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, daun *Cyperus rotundus* masih berwarna hijau segar sama dengan tumbuhan pada reaktor kontrol.

Pengamatan hari ke-3, pada konsentrasi 10% tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Sedangkan pada konsentrasi 25% dan 50%, sebagian ujung daun mulai menguning dan pada konsentrasi 75% dan 100%, menunjukkan 50% daun tumbuhan sudah menguning.

Pengamatan hari ke-5, tumbuhan pada konsentrasi 10% tidak terdapat perbedaan fisik dengan reaktor kontrol. Sedangkan pada konsentrasi 25% daun berubah warna menjadi kuning sebanyak 50%, pada konsentrasi 50% dan 75% daun tumbuhan menguning sebanyak 75%, dan pada konsentrasi 100% sebagian besar atau 90% daun tumbuhan sudah menguning.

Pengamatan hari ke-7, tidak terdapat perbedaan fisik tumbuhan pada konsentrasi 10% dengan reaktor kontrol. Sedangkan pada konsentrasi 25% daun tumbuhan sudah menguning dan ujung daun berubah warna menjadi coklat sebanyak 75%, pada konsentrasi 50%, 90% daun tumbuhan berwarna coklat, dan pada konsentrasi 75% dan 100% tumbuhan tidak dapat bertahan atau tumbuhan mati yang ditandai dengan semua daun tumbuhan berubah warna menjadi coklat dan mulai mengering.

Berdasarkan pengamatan fisik tumbuhan *Cyperus rotundus* pada limbah rendaman dapat dilihat bahwa hari pertama pada konsentrasi 10, 25%, 50%, 75%, dan 100 % tidak terdapat perbedaan fisik tumbuhan dengan reaktor kontrol daun tumbuhan masih berwarna hijau segar.

Pengamatan hari ke-3, dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan antara tumbuhan pada konsentrasi 10% dan 25% dengan reaktor kontrol. Sedangkan pada konsentrasi 50%, 75%, dan 100% sebagian ujung daun mulai menguning.

Pengamatan hari ke-5, tidak terjadi perubahan fisik pada konsentrasi 10%. Sedangkan pada konsentrasi 25% daun tumbuhan mulai berubah warna menjadi kuning pada ujung-ujungnya, pada konsentrasi 50% sebagian daun tumbuhan sudah menguning sebanyak 50%, pada konsentrasi 75% daun tumbuhan sudah berwarna kuning sebanyak 75% dan ujung daun berwarna coklat, dan pada konsentrasi 100% sebagian besar yaitu sebanyak 90% daun tumbuhan sudah berwarna coklat dan mulai mengering.

Pengamatan hari ke-7, tumbuhan pada konsentrasi 10% tidak terdapat perbedaan dengan reaktor kontrol. Sedangkan pada konsentrasi 25% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning sebanyak 50%, pada konsentrasi 75% daun tumbuhan berwarna kuning sebanyak 75% dan ujung daun berubah warna menjadi coklat, pada konsentrasi 75% dan 100% tumbuhan mati yang ditandai dengan warna tumbuhan yang sudah berubah warna menjadi coklat dan ujung-ujung daun yang mengering.

Berdasarkan pengamatan fisik *Cyperus rotundus* pada limbah campuran dapat dilihat bahwa hari pertama tumbuhan pada reaktor kontrol, tumbuhan pada limbah dengan konsentrasi 10%, 25%, 50%, 75%, dan 100 %, daun tumbuhan masih berwarna hijau segar.

Pengamatan pada hari ke-3, pada konsentrasi 10%, 25%, dan 50% tidak terjadi perubahan fisik tumbuhan. Sedangkan pada konsentrasi 75% dan 100% sebagian ujung daun sudah mulai menguning.

Pada pengamatan hari ke-5, tumbuhan pada konsentrasi 10% tidak terjadi perubahan fisik. Sedangkan pada konsentrasi 25% dan 50% sebagian ujung daun sudah mulai menguning, pada konsentrasi 75% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning sebanyak 75% dan ujung daun berwarna coklat, dan pada konsentrasi 100% sebagian besar daun tumbuhan yaitu sebanyak 90% sudah berubah warna menjadi kuning dan ujung daun berwarna coklat.

Pada pengamatan hari ke-7, pada konsentrasi 10%, tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Sedangkan pada konsentrasi 25% dan 50% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning sebanyak 75% dan ujung daun berwarna coklat, dan pada konsentrasi 75% dan 100% tumbuhan mati yang ditandai dengan



daun tumbuhan yang berubah warna menjadi coklat dan ujung daun yang mengering.

Berdasarkan pengamatan fisik *Scirpus grossus* pada limbah rebusan dapat dilihat bahwa hari pertama, tumbuhan pada reaktor kontrol dan tumbuhan pada limbah konsentrasi 10%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, daun tumbuhan berwarna hijau segar.

Pengamatan pada hari ke-3, tumbuhan pada konsentrasi 10% dan 25% tidak terdapat perbedaan dengan tumbuhan pada reaktor kontrol atau tidak terjadi perubahan fisik. Sedangkan pada konsentrasi 50% sebagian ujung daun mulai menguning, pada konsentrasi 75% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning sebanyak 50%, dan pada konsentrasi 100% daun tumbuhan berwarna kuning sebanyak 75% dan ujung daun berwarna coklat.

Pengamatan pada hari ke-5, pada konsentrasi 10% tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Sedangkan pada konsentrasi 25% sebagian ujung daun mulai menguning, pada konsentrasi 50% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning sebanyak 75%, pada konsentrasi 75% sebagian besar (95%) daun tumbuhan sudah menguning dan ujung daun berwarna coklat, dan pada konsentrasi 100% tumbuhan mati.

Pengamatan pada hari ke-7, pada konsentrasi 10% tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Sedangkan pada konsentrasi 25% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning sebanyak 50% dan ujung daun berwarna coklat, pada konsentrasi 50% sebagian besar (95%) daun tumbuhan berwarna kuning dan ujung daun berwarna coklat, dan pada konsentrasi 75% dan 100% tumbuhan mati yang ditandai dengan daun tumbuhan berwarna coklat dan kering.

Berdasarkan pengamatan fisik *Scirpus grossus* pada limbah rendaman dapat dilihat bahwa hari pertama tumbuhan pada reaktor kontrol dan tumbuhan pada limbah dengan konsentrasi 10%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, daun tumbuhan berwarna hijau segar.

Pengamatan pada hari ke-3, pada konsentrasi 10% tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Sedangkan pada konsentrasi 25%, 50%, 75%, dan 100% sebagian ujung daun mulai menguning.

Pengamatan pada hari ke-5, pada konsentrasi 10% tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Sedangkan pada

konsentrasi 25% dan 50% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning sebanyak 25% dan sebagian ujung daun berwarna coklat, pada konsentrasi 75% daun tumbuhan berubah menjadi warna kuning sebanyak 75% dan ujung daun berwarna coklat, dan pada konsentrasi 100% sebagian besar daun tumbuhan (95%) berwarna kuning dan ujung daun berwarna coklat.

Pengamatan pada hari ke-7, pada konsentrasi 10% tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Sedangkan pada konsentrasi 25% dan 50% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning sebanyak 50% dan ujung daun berwarna coklat, pada konsentrasi 75% sebagian besar daun tumbuhan (95%) berwarna kuning dan ujung daun berwarna coklat, dan pada konsentrasi 100% tumbuhan mati, yang ditandai dengan daun berwarna coklat dan kering.

Berdasarkan pengamatan fisik tumbuhan *Scirpus grossus* pada limbah campuran dapat dilihat bahwa hari pertama tumbuhan pada reaktor kontrol dan pada konsentrasi 10%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, daun tumbuhan berwarna hijau segar.

Pengamatan pada hari ke-3, pada konsentrasi 10% tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Sedangkan pada konsentrasi 25% sebagian ujung daun mulai menguning, pada konsentrasi 50% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning sebanyak 50%, pada konsentrasi 75% dan 100% daun tumbuhan berwarna kuning sebanyak 75% dan ujung daun berwarna coklat.

Pengamatan pada hari ke-5, pada konsentrasi 10% tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Sedangkan pada konsentrasi 25% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning, pada konsentrasi 50% dan 75% daun tumbuhan berwarna kuning sebanyak 90% dan ujung daun berwarna coklat, dan pada konsentrasi 100% tumbuhan mati.

Pengamatan pada hari ke-7, pada konsentrasi 10% tidak terjadi perubahan fisik pada tumbuhan. Sedangkan pada konsentrasi 25% daun tumbuhan berubah warna menjadi kuning sebanyak 90% dan ujung daun berwarna coklat, dan pada konsentrasi 50%, 75%, dan 100% tumbuhan mati yang ditandai dengan daun berwarna coklat dan kering.

#### 4.5 Uji *Phytotreatment* Limbah Cair Tempe

Penelitian utama yaitu tahap uji *phytotreatment* dengan menggunakan sistem *subsurface flow constructed wetlands* dengan sistem aliran secara *batch* dan *intermittent*. Tumbuhan yang digunakan adalah tumbuhan yang sudah melalui tahap aklimatisasi sebelumnya, supaya tumbuhan dapat beradaptasi dengan media tumbuh yang akan digunakan pada uji *phytotreatment*. Konsentrasi limbah yang digunakan adalah konsentrasi limbah dari hasil *range finding test* (RFT) yang tidak menimbulkan efek kematian pada tumbuhan. Konsentrasi limbah cair tempe yang digunakan untuk tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* adalah sama yaitu 10% (v/v). Konsentrasi BOD limbah rebusan sebesar 1.798 mg/L, limbah rendaman 1.523 mg/L, dan limbah campuran 1.755 mg/L. Konsentrasi ini merupakan konsentrasi yang tidak memberikan efek kematian pada kedua tumbuhan uji. Penelitian ini menggunakan media yang disesuaikan dengan kriteria media *subsurface flow constructed wetlands* yaitu berupa media kerikil, pasir, dan dengan limbah cair tempe.

Pada uji *Phytotreatment*, tumbuhan yang digunakan adalah hasil pengembangbiakan (propagasi), dimana tinggi batang tumbuhan *Cyperus rotundus* 30-32 cm dan tinggi batang tumbuhan *Scirpus grossus* 78-87 cm berumur  $\pm 1$  bulan. Volume air limbah yang digunakan sebanyak 8 Liter, Setiap sampling air limbah diambil  $\pm 200$  ml. Setiap sesuai sampling, air limbah diisi ulang hingga mencapai level air yang sama seperti awal penelitian. Volume air limbah yang ditambahkan ke dalam reaktor  $\pm 800$ ml. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi hilangnya air limbah dalam reaktor akibat sampling dan penguapan. Penurunan level air yang terjadi akibat penguapan bervariasi sesuai paparan sinar matahari pada reaktor berada. Parameter yang akan diuji yaitu BOD, COD, TSS dan parameter pendukung yaitu pH, suhu, dan morfologi tumbuhan.

Sebelum dilakukan uji *phytotreatment*, dilakukan perhitungan kebutuhan tumbuhan menggunakan persamaan beban volume limbah sesuai dengan perhitungan kebutuhan tumbuhan pada uji RFT. Perhitungan dapat dilihat di bawah ini:

- **Reaktor dengan *Cyperus rotundus***

- Perlakuan pada tahap RFT tumbuhan *Cyperus rotundus*:  
 Volume limbah = 3 Liter  
 Jumlah tumbuhan = 3 tumbuhan
- Perlakuan pada tahap uji *phytotreatment* tumbuhan *Cyperus rotundus*:  
 Volume limbah = 8 Liter  
 Jumlah tumbuhan =  $\frac{3 \text{ tumbuhan}}{3 \text{ liter}} \times 8 \text{ liter}$   
 = 8 tumbuhan

Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan kebutuhan tumbuhan untuk reaktor *Cyperus rotundus* sebanyak 8 tumbuhan.

- **Reaktor dengan *Scirpus grossus***

- Perlakuan pada tahap RFT tumbuhan *Scirpus grossus*:  
 Volume limbah = 3 Liter  
 Jumlah tumbuhan = 4 tumbuhan
- Perlakuan pada tahap uji *phytotreatment* tumbuhan *Scirpus grossus*:  
 Volume limbah = 8 Liter  
 Jumlah tumbuhan =  $\frac{4 \text{ tumbuhan}}{3 \text{ liter}} \times 8 \text{ liter}$   
 = 10,67 tumbuhan  
 = 11 tumbuhan

Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan kebutuhan tumbuhan untuk reaktor *Scirpus grossus* sebanyak 11 tumbuhan. Sebelum ditanam, tumbuhan uji ditimbang berat basahanya terlebih dulu. Diusahakan berat tumbuhan pada tiap reaktor adalah sama.

Setelah dilakukan perhitungan terhadap kebutuhan tumbuhan, selanjutnya dilakukan perhitungan beban yang diterima oleh 1 unit tumbuhan dalam menyerap kontaminan limbah cair tempe. Berikut merupakan perhitungan beban organik setiap jenis limbah yang dipaparkan pada uji *phytotreatment*.

1. Limbah Rebusan

a) Tumbuhan *Cyperus rotundus*

- Tahap *Range Finding Test*:

Diketahui: Konsentrasi limbah dalam 10%

BOD = 1.798 mg/L

Volume = 3 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 3 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 3 tumbuhan =

$$\text{Volume} \times \text{BOD} = 3 \text{ L} \times 1.798 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$= 5.394 \frac{\text{mg BOD}}{3 \text{ tumbuhan}}$$

$$= 5,394 \frac{\text{gr BOD}}{3 \text{ tumbuhan}}$$

$$\text{Beban organik yang dipaparkan} = \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$$

$$= \frac{5,394 \text{ gr}}{3 \times 1,65 \text{ gr}}$$

$$= 1,08 \frac{\text{gr BOD}}{\text{gr berat kering tumbuhan}}$$

- Cek beban pada tahap uji *phytotreatment*:

Diketahui:

BOD = 1.798 mg/L

Volume = 8 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 8 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 8 tumbuhan =

$$\text{Volume} \times \text{BOD} = 8 \text{ L} \times 1.798 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$= 14.384 \frac{\text{mg BOD}}{8 \text{ tumbuhan}}$$

$$= 14,384 \frac{\text{gr BOD}}{8 \text{ tumbuhan}}$$

$$\text{Beban organik yang dipaparkan} = \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$$

$$= \frac{14,384 \text{ gr}}{8 \times 1,65 \text{ gr}}$$

$$= 1,08 \frac{\text{gr BOD}}{\text{gr berat kering tumbuhan}}$$

Tumbuhan *Cyperus rotundus* menerima beban limbah rebusan sebesar 1,08 gr BOD/gr berat kering tumbuhan.

b) Tumbuhan *Scirpus grossus*

- Tahap *Range Finding Test*:

Diketahui: Konsentrasi limbah dalam 10%

BOD = 1.798 mg/L

Volume = 3 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 4 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 4 tumbuhan =

$$\begin{aligned} \text{Volume} \times \text{BOD} &= 3 \text{ L} \times 1.798 \text{ mg/L} \\ &= 5.394 \text{ mg BOD} / 4 \text{ tumbuhan} \\ &= 5,394 \text{ gr BOD} / 4 \text{ tumbuhan} \end{aligned}$$

Beban organik yang dipaparkan =  $\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$

$$\begin{aligned} &= \frac{5,394 \text{ gr}}{4 \times 2,57 \text{ gr}} \\ &= 0,52 \text{ gr BOD} / \text{gr berat kering tumbuhan} \end{aligned}$$

- Cek beban pada tahap uji *phytotreatment*:

Diketahui:

BOD = 1.798 mg/L

Volume = 8 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 11 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 11 tumbuhan =

$$\begin{aligned} \text{Volume} \times \text{BOD} &= 8 \text{ L} \times 1.798 \text{ mg/L} \\ &= 14.384 \text{ mg BOD} / 11 \text{ tumbuhan} \\ &= 14,384 \text{ gr BOD} / 11 \text{ tumbuhan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban organik yang dipaparkan} &= \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}} \\ &= \frac{14,384 \text{ gr}}{11 \times 2,57 \text{ gr}} \\ &= 0,52 \text{ gr BOD} / \text{gr berat kering tumbuhan}\end{aligned}$$

Tumbuhan *Scirpus grossus* menerima beban limbah rebusan sebesar 0,52 gr BOD/gr berat kering tumbuhan.

## 2. Limbah Rendaman

### a) Tumbuhan *Cyperus rotundus*

- Tahap *Range Finding Test*:

Diketahui: Konsentrasi limbah dalam 10%

BOD = 1.523 mg/L

Volume = 3 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 3 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 3 tumbuhan =

$$\begin{aligned}\text{Volume} \times \text{BOD} &= 3 \text{ L} \times 1.523 \text{ mg/L} \\ &= 4.569 \text{ mg BOD} / 3 \text{ tumbuhan} \\ &= 4,569 \text{ gr BOD} / 3 \text{ tumbuhan}\end{aligned}$$

Beban organik yang dipaparkan =  $\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$

$$\begin{aligned}&= \frac{4,569 \text{ gr}}{3 \times 1,65 \text{ gr}} \\ &= 0,92 \text{ gr BOD} / \text{gr berat kering tumbuhan}\end{aligned}$$

- Cek beban pada tahap uji *phytotreatment*:

Diketahui:

BOD = 1.523 mg/L

Volume = 8 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 8 tumbuhan

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
&\text{Beban limbah yang diterima oleh 8 tumbuhan} = \\
&\text{Volume} \times \text{BOD} = 8 \text{ L} \times 1.523 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \\
&= 12.184 \text{ mg BOD} / 8 \text{ tumbuhan} \\
&= 12,184 \text{ gr BOD} / 8 \text{ tumbuhan} \\
&\text{Beban organik yang dipaparkan} = \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}} \\
&= \frac{12,184 \text{ gr}}{8 \times 1,65 \text{ gr}} \\
&= 0,92 \text{ gr BOD} / \text{gr berat kering tumbuhan}
\end{aligned}$$

Tumbuhan *Cyperus rotundus* menerima beban limbah rendaman sebesar 0,92 gr BOD/gr berat kering tumbuhan.

b) Tumbuhan *Scirpus grossus*

- Tahap *Range Finding Test*:

Diketahui: Konsentrasi limbah dalam 10%

BOD = 1.523 mg/L

Volume = 3 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 4 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 4 tumbuhan =

$$\begin{aligned}
&\text{Volume} \times \text{BOD} = 3 \text{ L} \times 1.523 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \\
&= 4.569 \text{ mg BOD} / 4 \text{ tumbuhan} \\
&= 4,569 \text{ gr BOD} / 4 \text{ tumbuhan}
\end{aligned}$$

Beban organik yang dipaparkan =  $\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$

$$\begin{aligned}
&= \frac{4,569 \text{ gr}}{4 \times 2,57 \text{ gr}} \\
&= 0,44 \text{ gr BOD} / \text{gr berat kering tumbuhan}
\end{aligned}$$



- Cek beban pada tahap uji *phytotreatment*:

Diketahui:

BOD = 1.523 mg/L

Volume = 8 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 11 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 11 tumbuhan =

$$\begin{aligned}\text{Volume} \times \text{BOD} &= 8 \text{ L} \times 1.523 \text{ mg/L} \\ &= 12.184 \text{ mg BOD} / 11 \text{ tumbuhan} \\ &= 12,184 \text{ gr BOD} / 11 \text{ tumbuhan}\end{aligned}$$

Beban organik yang dipaparkan =  $\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$

$$\begin{aligned}&= \frac{12,184 \text{ gr}}{11 \times 2,57 \text{ gr}} \\ &= 0,44 \text{ gr BOD} / \text{gr berat kering tumbuhan}\end{aligned}$$

Tumbuhan *Scirpus grossus* menerima beban limbah rendaman sebesar 0,44 gr BOD/gr berat kering tumbuhan.

### 3. Limbah Campuran

#### a) Tumbuhan *Cyperus rotundus*

- Tahap *Range Finding Test*:

Diketahui: Konsentrasi limbah dalam 10%

BOD = 1.755 mg/L

Volume = 3 L

Jumlah tumbuhan digunakan = 3 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 3 tumbuhan =

$$\begin{aligned}\text{Volume} \times \text{BOD} &= 3 \text{ L} \times 1.755 \text{ mg/L} \\ &= 5.265 \text{ mg BOD} / 3 \text{ tumbuhan} \\ &= 5,265 \text{ gr BOD} / 3 \text{ tumbuhan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban organik yang dipaparkan} &= \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}} \\ &= \frac{5,265 \text{ gr}}{3 \times 1,65 \text{ gr}} \\ &= 1,06 \text{ gr BOD} / \text{gr berat kering tumbuhan}\end{aligned}$$

- Cek beban pada tahap uji *phytotreatment*:

Diketahui:

$$\text{BOD} = 1.755 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volume} = 8 \text{ L}$$

Jumlah tumbuhan digunakan = 8 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 8 tumbuhan =

$$\begin{aligned}\text{Volume} \times \text{BOD} &= 8 \text{ L} \times 1.755 \text{ mg/L} \\ &= 14.040 \text{ mg BOD} / 8 \text{ tumbuhan} \\ &= 14,040 \text{ gr BOD} / 8 \text{ tumbuhan}\end{aligned}$$

$$\text{Beban organik yang dipaparkan} = \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{14,040 \text{ gr}}{8 \times 1,65 \text{ gr}} \\ &= 1,06 \text{ gr BOD} / \text{gr berat kering tumbuhan}\end{aligned}$$

Tumbuhan *Cyperus rotundus* menerima beban limbah campuran sebesar 1.06 gr BOD/gr berat kering tumbuhan.

b) Tumbuhan *Scirpus grossus*

- Tahap *Range Finding Test*:

Diketahui: Konsentrasi limbah dalam 10%

$$\text{BOD} = 1.755 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volume} = 3 \text{ L}$$

Jumlah tumbuhan digunakan = 4 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 4 tumbuhan =

$$\begin{aligned}\text{Volume} \times \text{BOD} &= 3 \text{ L} \times 1.755 \text{ mg/L} \\ &= 5.265 \text{ mg BOD} / 4 \text{ tumbuhan} \\ &= 5,265 \text{ gr BOD} / 4 \text{ tumbuhan}\end{aligned}$$

$$\text{Beban organik yang dipaparkan} = \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{5,265 \text{ gr}}{4 \times 2,57 \text{ gr}} \\ &= 0,52 \text{ gr BOD} / \text{gr berat kering tumbuhan}\end{aligned}$$

- Cek beban pada tahap uji *phytotreatment*:

Diketahui:

$$\text{BOD} = 1.755 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volume} = 8 \text{ L}$$

Jumlah tumbuhan digunakan = 11 tumbuhan

Perhitungan:

Beban limbah yang diterima oleh 11 tumbuhan =

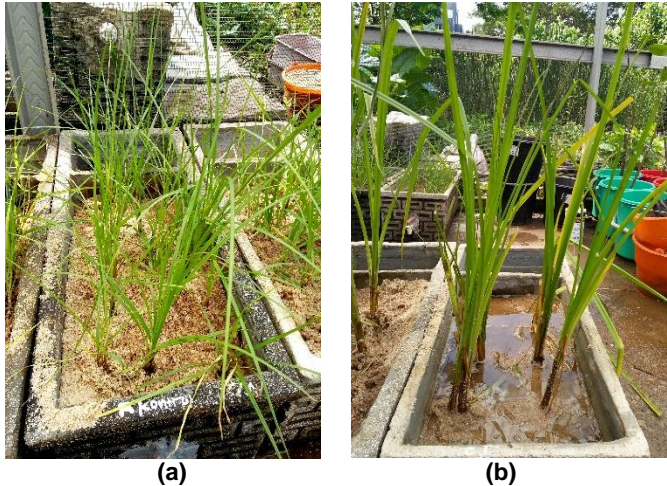
$$\begin{aligned}\text{Volume} \times \text{BOD} &= 8 \text{ L} \times 1.755 \text{ mg/L} \\ &= 14.040 \text{ mg BOD} / 11 \text{ tumbuhan} \\ &= 14,040 \text{ gr BOD} / 11 \text{ tumbuhan}\end{aligned}$$

$$\text{Beban organik yang dipaparkan} = \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{14,040 \text{ gr}}{11 \times 2,57 \text{ gr}} \\ &= 0,52 \text{ gr BOD} / \text{gr berat kering tumbuhan}\end{aligned}$$

Tumbuhan *Scirpus grossus* menerima beban limbah campuran sebesar 0,52 gr BOD/gr berat kering tumbuhan.

Kondisi awal *phytotreatment* masing-masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.12.



(a) (b)  
**Gambar 4.12 Kondisi awal reaktor *phytotreatment***  
**(a)Reaktor dengan *Cyperus rotundus* (b)Reaktor**  
**dengan *Scirpus grossus***

#### **4.5.1 Analisis Parameter dengan Aliran *Batch***

Parameter yang dianalisis pada penelitian dengan aliran *batch* yaitu BOD, COD, rasio BOD/COD, TSS dan parameter pendukungnya yaitu pH, suhu, dan morfologi tumbuhan. Berikut penjelasan masing-masing analisis parameter.

##### **1. Analisis Parameter BOD**

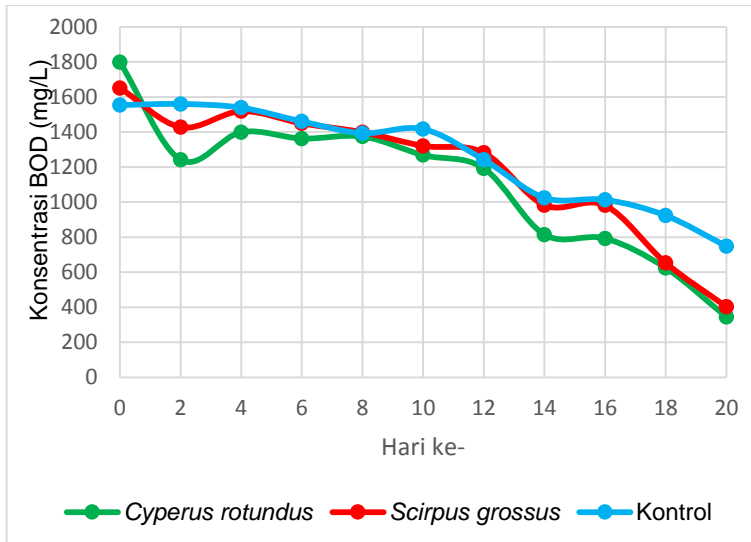
Penurunan konsentrasi BOD terjadi hampir pada setiap reaktor dengan berbagai konsentrasi limbah cair industri tempe dan waktu paparan. Hal ini terjadi karena tumbuhan uji mempunyai peran yang baik dalam mendukung laju penyerapan unsur hara yang ada. Sehingga semakin tinggi aktivitas fotosintesis akan berakibat semakin tinggi pula oksigen terlarut yang dihasilkan yang akan memicu kinerja mikroorganisme dalam meremoval senyawa organik yang ada sehingga tumbuhan akan

memanfaatkan zat organik dari mikroorganisme untuk berfotosintesis (Intansari, 2014).

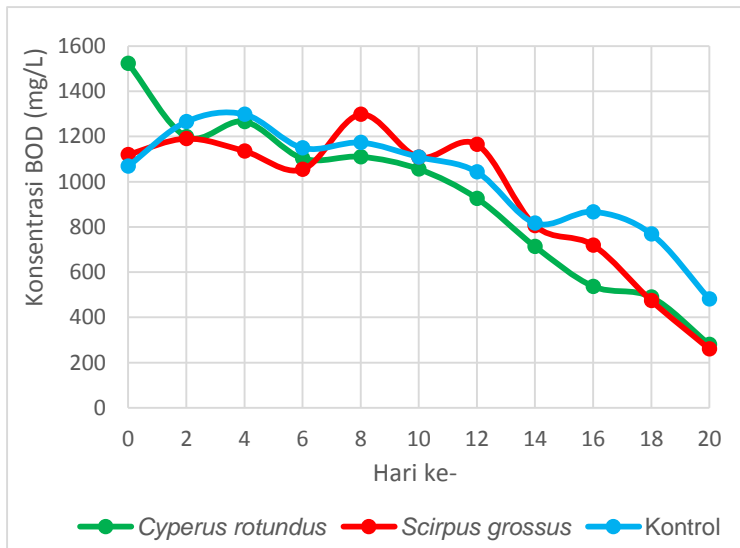
Proses penurunan BOD<sub>5</sub> terjadi melalui proses fisik dan biologis. Removal fisik dari BOD<sub>5</sub> terjadi melalui proses pengendapan dan penangkapan material partikulat di ruang hampa pada media kerikil. BOD<sub>5</sub> terlarut disisihkan oleh pertumbuhan mikroba pada permukaan media dan menempel pada akar tumbuhan serta penetrasi rhizoma pada *bed* (Reed, 1993). Senyawa organik yang terkandung dalam limbah industri tempe menjadi nutrisi bagi mikroba yang selanjutnya diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pada tahap *phytotreatment*, proses penurunan kandungan pencemar dalam limbah menggunakan tumbuhan merupakan kerjasama antara tumbuhan dan mikroba yang berada pada tumbuhan tersebut (Hayati, 1992).

Hasil analisis BOD dengan aliran *batch* dapat dilihat pada Gambar 4.13 sampai 4.15. Berdasarkan gambar dapat dilihat perbedaan efisiensi penurunan BOD dengan SSF-CWs tanpa tumbuhan, SSF-CWs dengan tumbuhan *Cyperus rotundus*, dan SSF-CWs dengan tumbuhan *Scirpus grossus*. Efisiensi penurunan BOD dengan menggunakan tumbuhan pada hari 1 sampai hari ke-10 kurang stabil dan dapat dilihat efisiensinya sedikit. Hal ini terjadi karena konsentrasi BOD yang diterima oleh tumbuhan terlalu besar sehingga tumbuhan tidak mampu mendegradasi polutan limbah sehingga tumbuhan menguning. Pada kondisi ini, penurunan BOD terjadi karena adanya peranan media dalam reaktor. Namun pada hari ke-11, tumbuhan mulai berkembang lagi dan pada reaktor tumbuh tunas baru. Hal ini dikarenakan pada hari ke-10 konsentrasi BOD sudah turun sehingga tumbuhan mampu hidup. Pada hari selanjutnya, efisiensi penurunan BOD meningkat, karena peran tumbuhan dalam mendegrasi polutan lebih efektif.

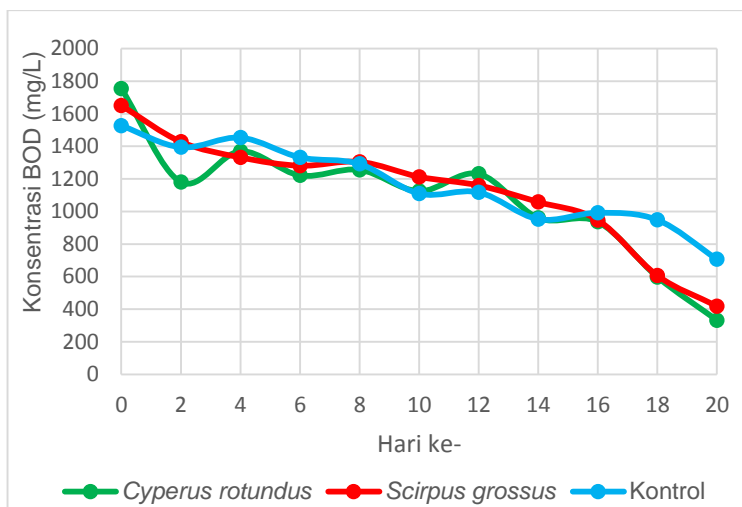
Berdasarkan Gambar 4.13 sampai 4.15 dapat dilihat bahwa penurunan kandungan BOD dapat terjadi dengan SSF-CWs dengan tumbuhan *Cyperus rotundus*, SSF-CWs dengan tumbuhan *Scirpus grossus*, dan SSF-CWs tanpa tumbuhan, efisiensi penurunannya cenderung meningkat seiring dengan lamanya waktu tinggal air limbah dalam reaktor. Efisiensi penurunan kandungan BOD tertinggi terjadi pada hari ke-20.



**Gambar 4.13 Konsentrasi BOD dalam Limbah Rebusan**



**Gambar 4.14 Konsentrasi BOD dalam Limbah Rendaman**



**Gambar 4.15 Konsentrasi BOD dalam Limbah Campuran**

Pada perlakuan SSF-CWs tanpa tumbuhan terjadi penurunan kandungan BOD pada limbah rebusan, rendaman, dan campuran. Hal ini terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme yang tumbuh dalam reaktor yang berisi media kerikil dan pasir silika yang mampu mendegradasi sebagian besar bahan organik dalam air limbah yang akan mempengaruhi konsentrasi BOD. Disamping itu proses pengolahan secara fisik (filtrasi dan sedimentasi) yang terjadi di dalam media reaktor cukup besar sehingga mempengaruhi penurunan konsentrasi BOD pada effluent air limbah.

Pada perlakuan SSF-CWs dengan tumbuhan *Cyperus rotundus* dan dengan tumbuhan *Scirpus grossus* terjadi penurunan kandungan BOD pada limbah rebusan, rendaman dan campuran. Menurut Tangahu dan Warmadewanthi (2001) mekanisme filtrasi dan sedimentasi juga terjadi dalam sistem lahan basah buatan aliran bawah permukaan (SSF-Wetlands) tersebut. Proses filtrasi dilakukan oleh media dan akar tumbuhan yang terdapat dalam reaktor, dimana proses tersebut terjadi karena kemampuan partikel-partikel media maupun sistem perakaran membentuk filter yang dapat menahan partikel-partikel solid yang terdapat dalam air. Dalam BOD terdapat senyawa organik yang mudah terurai

yang dinyatakan dalam nilai BOD serta terdapat pula yang sulit terurai. Senyawa organik yang dapat terurai ditunjukkan dari padatan tersuspensi yang dapat mengendap lebih banyak daripada yang dapat terlarut. Hal ini karena 80% dari BOD terdiri dari padatan terlarut dan tersuspensi, padatan tersuspensi dapat dibagi menjadi padatan yang dapat mengendap dan tidak dapat mengendap (Crities dan Tchobanoglous, 1998).

Penurunan kandungan BOD pada perlakuan SSF-CWs pada dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4.2 Penurunan BOD dengan Sistem *Batch***

Jenis Limbah	Reaktor	Konsentrasi BOD (mg/L)	% Removal
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	345	81
	<i>Scirpus grossus</i>	403	76
	Kontrol	749	52
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	280	82
	<i>Scirpus grossus</i>	260	77
	Kontrol	481	55
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	332	81
	<i>Scirpus grossus</i>	419	75
	Kontrol	707	54

Berdasarkan data yang di atas, apabila dibandingkan efisiensi penurunan BOD pada reaktor kontrol dengan reaktor menggunakan tumbuhan, dapat disimpulkan bahwa media dalam reaktor yaitu kerikil dan pasir silika memiliki peranan paling besar dalam menurunkan kandungan BOD dalam limbah cair tempe. Hal ini juga dapat dikarenakan akar tumbuhan tidak melewati media kerikil, sehingga tumbuhan tidak banyak berperan dalam pengolahan limbah.

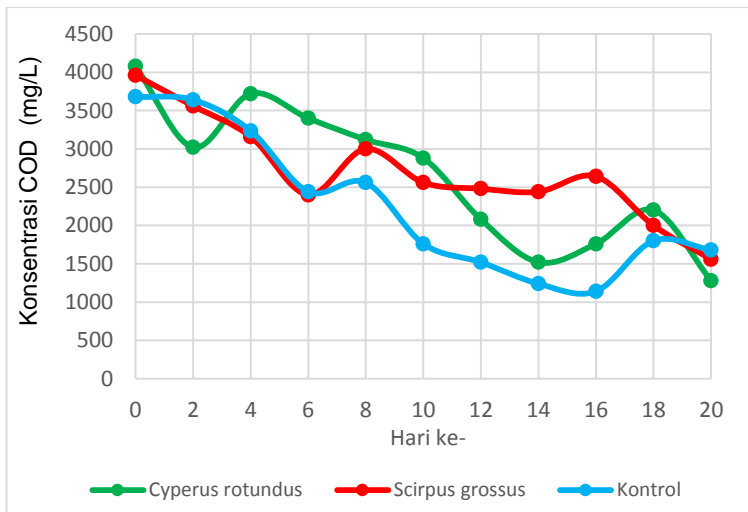


## 2. Analisis Parameter COD

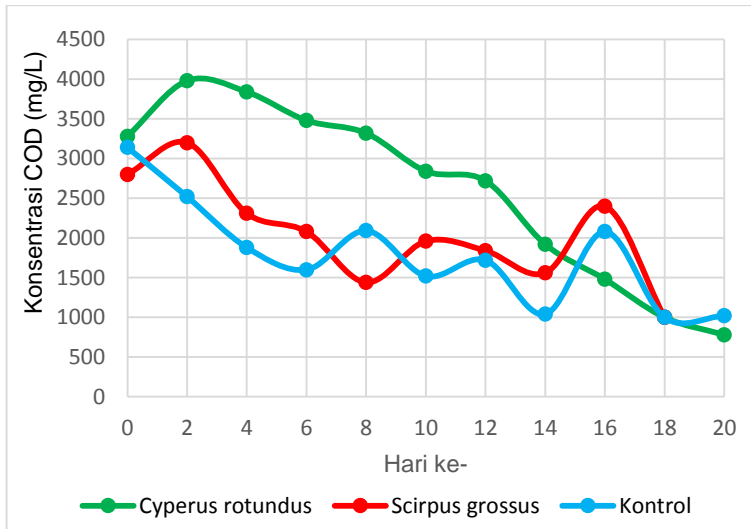
Nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) menunjukkan kadar organik dalam air sampel yang dapat dioksidasi secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis (Fandya dan Soewondo, 2011).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecenderungan penurunan konsentrasi COD sejalan dengan penurunan konsentrasi BOD secara bertahap mengindikasikan bahwa bahan organik yang terkandung dalam air limbah tempe sebagian besar merupakan bahan organik yang bersifat *biodegradable* (dapat terdegradasi secara biologis). Hal ini disebabkan dari hasil proses biodegradasi oleh mikroorganisme dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk memenuhi kebutuhan unsur hara selama masa pertumbuhan (Muhajir, 2013).

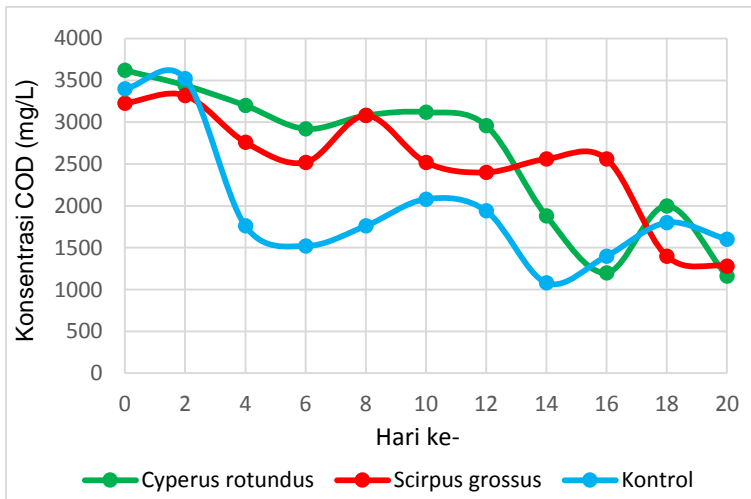
Hasil analisis konsentrasi COD dalam limbah rebusan dapat dilihat pada Gambar 4.16. Hasil analisis konsentrasi COD dalam limbah rendaman dapat dilihat pada Gambar 4.17. Hasil analisis konsentrasi COD pada limbah campuran dapat dilihat pada Gambar 4.18.



**Gambar 4.16 konsentrasi COD dalam Limbah Rebusan**



**Gambar 4.17 konsentrasi COD dalam Limbah Rendaman**



**Gambar 4.18 Konsentrasi COD dalam Limbah Campuran**

Berdasarkan Gambar 4.16 sampai 4.18, dapat dilihat penurunan konsentrasi COD terjadi seiring berjalanya waktu.

Pada perlakuan SSF-CWs dengan tumbuhan terjadi penurunan konsentrasi COD limbah cair tempe. Hal ini terjadi karena proses degradasi mulai efektif ketika mikroorganisme di dalam zona akar sudah mulai tumbuh dalam jumlah yang banyak. Proses pengolahan air limbah yang terjadi pada reaktor saat uji *phytotreatment* adalah filtrasi, absorpsi oleh mikroorganisme dan adsorpsi bahan organik oleh akar-akar tumbuhan (Novonthy dan Olem, 1993). Kenaikan efisiensi penyisihan pada reaktor uji terjadi karena penguraian bahan organik oleh mikroorganisme pada akar tumbuhan yang kemudian digunakan pada proses fotosintesis. Dalam hal ini, tumbuhan mempunyai peranan dalam proses pembersihan limbah karena akar tumbuhan merupakan tempat melekatnya bakteri (Khiauddin, 2003). Mikroorganisme akan merombak bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana yang dimanfaatkan tumbuhan sebagai nutrient, sedangkan sistem perakaran tumbuhan akan menyediakan oksigen untuk proses metabolisme mikroorganisme.

Penurunan konsentrasi COD pada perlakuan SSF-CWs dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.3 Penurunan COD dengan Sistem *Batch***

Jenis Limbah	Reaktor	Konsentrasi COD (mg/L)	% Removal
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	1280	69
	<i>Scirpus grossus</i>	1560	61
	Kontrol	1680	54
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	780	76
	<i>Scirpus grossus</i>	840	70
	Kontrol	1300	59
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	1160	68
	<i>Scirpus grossus</i>	1280	60
	Kontrol	1600	53

Berdasarkan hasil konsentrasi COD yang didapatkan berdasarkan penelitian menggunakan SSF-CWs tanpa tumbuhan dan dengan tumbuhan, dapat disimpulkan bahwa media (pasir silika dan kerikil) dalam reaktor memiliki peranan paling besar dalam mendegradasi polutan. Hal ini diduga terjadi karena air limbah yang diam di dasar reaktor yang berisi kerikil tidak melewati akar tumbuhan, sehingga tumbuhan tidak banyak berperan dalam pengolahan air limbah.

### **3. Analisis Rasio BOD/COD**

Rasio BOD/COD digunakan untuk mengetahui tingkat biodegradabilitas dalam air limbah. Semakin tinggi rasio menunjukkan bahwa semakin mudah suatu zat tersebut terurai secara microbial (Mangkoedihardjo, 2010).

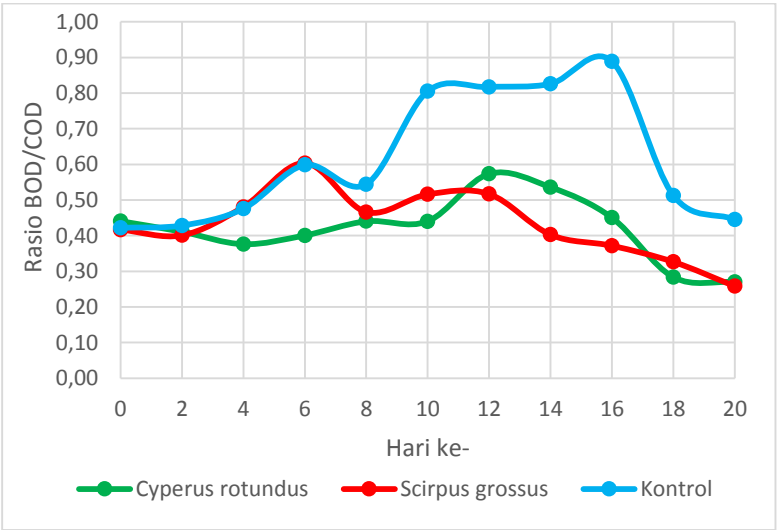
Menurut Samudro dan Mangkoedihardjo (2010), rasio BOD/COD diklasifikasikan menjadi beberapa zona yang menentukan bagaimana limbah tersebut diolah atau dibuang. Zona tersebut adalah sebagai berikut:

1. Zona toksik: rasio BOD/COD rendah ( $<0,1$ ), nilai BOD dan COD tinggi.
2. Zona biodegradable: rasio BOD/COD antara  $0,1 - 1,0$ ; nilai COD rendah dan BOD meningkat
3. Zona stabil: konsentrasi zat organik dapat dibuang ke lingkungan karena nilai BOD dan COD sama-sama kecil.

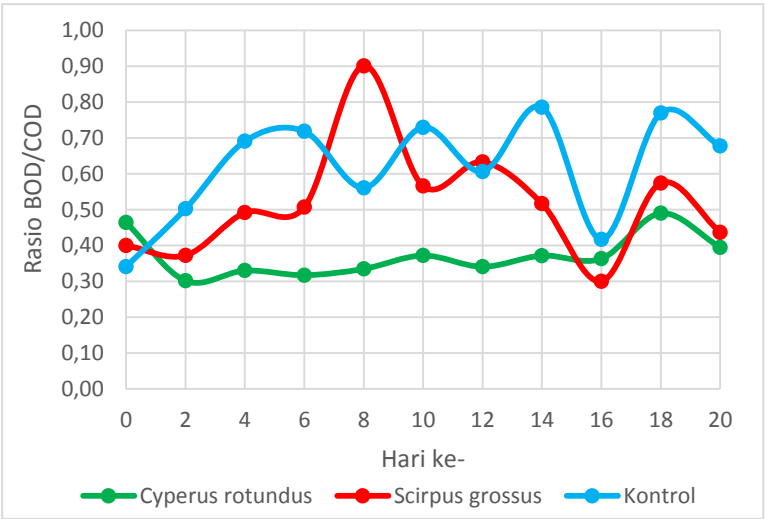
Secara umum naiknya rasio BOD/COD dapat disebabkan karena nilai BOD yang naik atau nilai COD yang turun. Naiknya nilai BOD dapat disebabkan karena adanya penambahan air limbah pada saat muka air limbah pada reaktor turun. Konsentrasi air limbah yang ditambahkan yaitu  $\pm 1.798$  mg/L sebanyak  $\pm 800$  ml. Penurunan muka air ini terjadi karena adanya sampling air limbah dan penguapan karena paparan matahari.

Hasil analisis rasio BOD/COD pada limbah rebusan dapat dilihat pada Gambar 4.19. Hasil analisis rasio BOD/COD pada limbah rendaman dapat dilihat pada Gambar 4.20. Hasil analisis

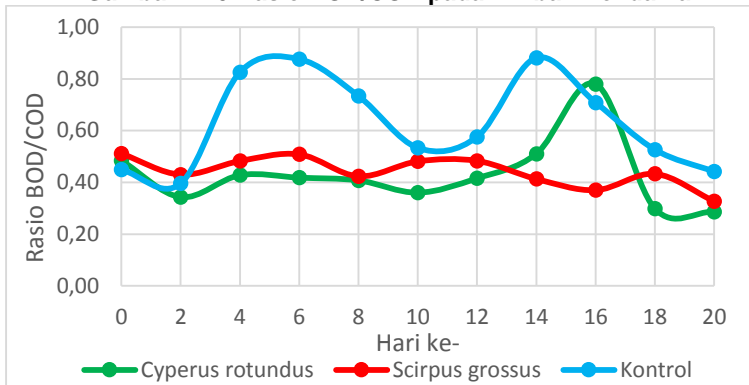
rasio BOD/COD pada limbah campuran dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.19 Rasio BOD/COD pada Limbah Rebusan



**Gambar 4.20 Rasio BOD/COD pada Limbah Rendaman**



**Gambar 4.21 Rasio BOD/COD pada Limbah Campuran**

Berdasarkan Gambar 4.19 sampai 4.21, dapat dilihat rasio BOD/COD limbah cair tempe berada diantara 0,2 - 0,9. Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair tempe bersifat *biodegradable*. Adanya kenaikan dan penurunan rasio BOD/COD merupakan hasil dari pengadaptasian tumbuhan terhadap bahan pencemar yang terkandung dalam limbah cair tempe. Berdasarkan Tchobanoglous (2004) bahwa rasio BOD/COD air limbah diantara 0,4 - 0,8 menunjukkan air limbah tersebut dapat diolah secara biologi karena karakteristik air tersebut *biodegradable* sehingga air limbah dapat diolah dengan menggunakan *constructed wetlands*.

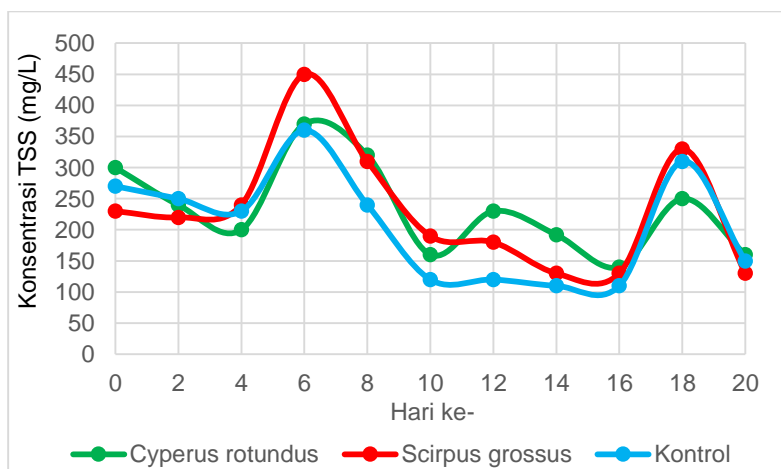
#### 4. Analisis TSS

Penurunan kandungan *suspended solid* (SS) pada limbah cair industri tempe, dapat terjadi dalam *subsurface constructed wetland* tanpa tumbuhan dan dengan adanya tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*. Penurunan TSS pada *subsurface constructed wetland* tanpa tumbuhan terjadi karena adanya proses penyaringan partikel tersuspensi secara mekanis ketika air limbah melewati media/substrat berupa media pasir dan kerikil. Sedangkan pada *subsurface constructed wetland* dengan adanya tumbuhan, penurunan *suspended solid* (SS) terjadi karena selain proses sedimentasi dan penyaringan oleh massa akar atau fauna air (Abdulgani, dkk).

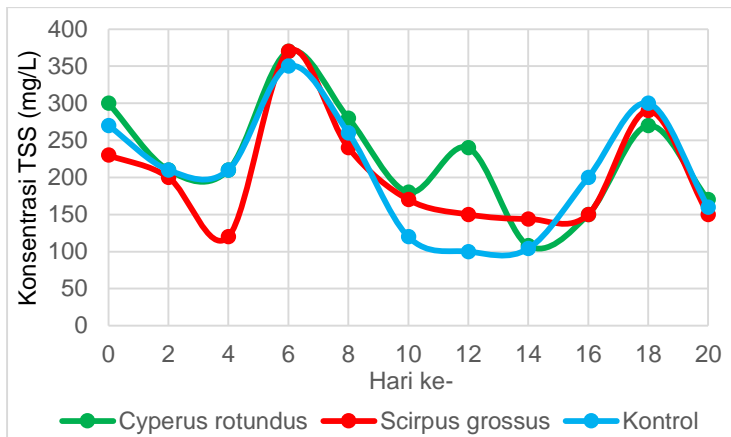
Berdasarkan Gambar 4.22 sampai 4.24, penurunan TSS yang pada reaktor *subsurface flow constructed wetlands* tanpa tumbuhan pada limbah rebusan, rendaman, dan campuran dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

**Tabel 4.4 Penurunan TSS dengan Sistem *Batch***

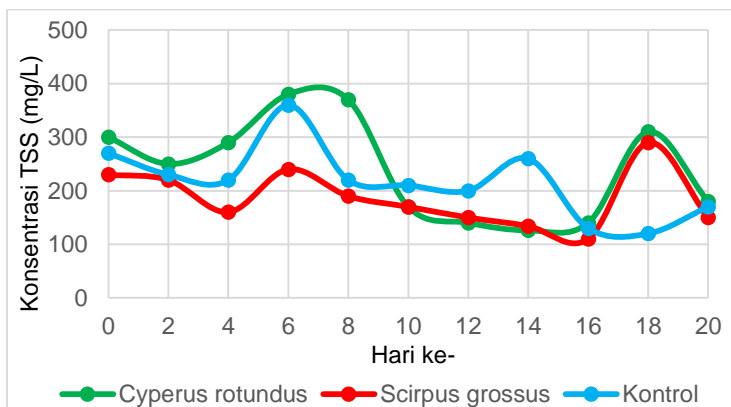
Jenis Limbah	Reaktor	Konsentrasi BOD (mg/L)	% Removal
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	160	47
	<i>Scirpus grossus</i>	130	43
	Kontrol	150	44
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	170	43
	<i>Scirpus grossus</i>	150	35
	Kontrol	160	41
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	180	40
	<i>Scirpus grossus</i>	150	35
	Kontrol	170	37



**Gambar 4.22 Konsentrasi TSS pada Limbah Rebusan**



**Gambar 4.23 Konsentrasi TSS pada Limbah Rendaman**



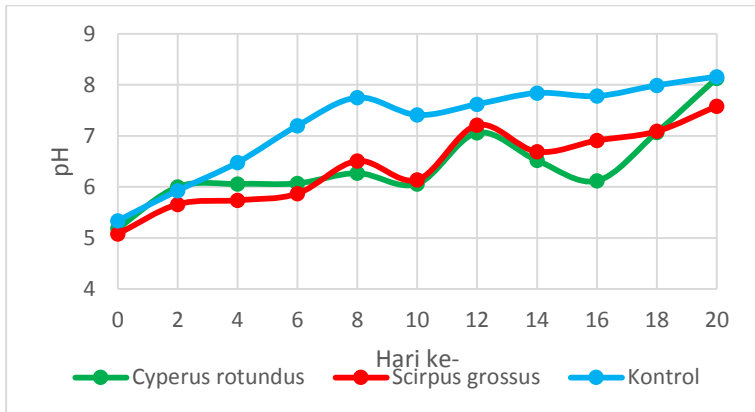
**Gambar 4.24 Konsentrasi TSS pada Limbah Campuran**

## 5. Analisis pH

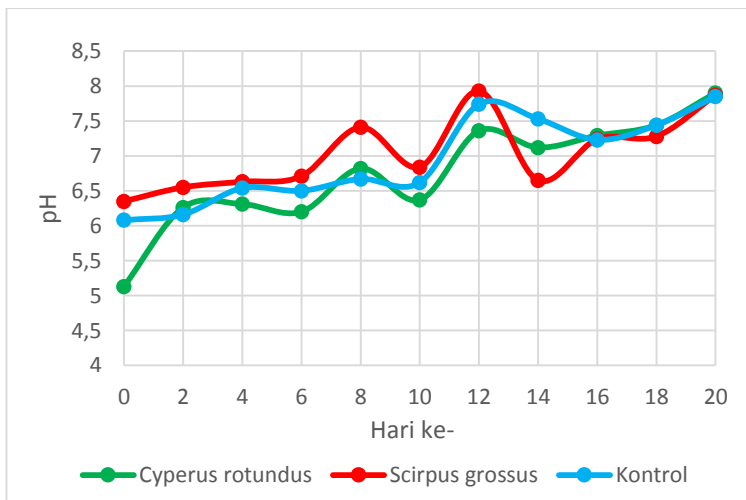
pH berpengaruh pada kemampuan mikroorganisme dalam degradasi bahan organik. Beberapa jenis bakteri dapat tumbuh dengan baik pada pH netral sampai agak basa. Pada pH asam pertumbuhan mikroorganisme mengalami penurunan. Degradasi bahan organik berjalan lebih cepat pada pH di atas 7 dibandingkan pada pH 5.



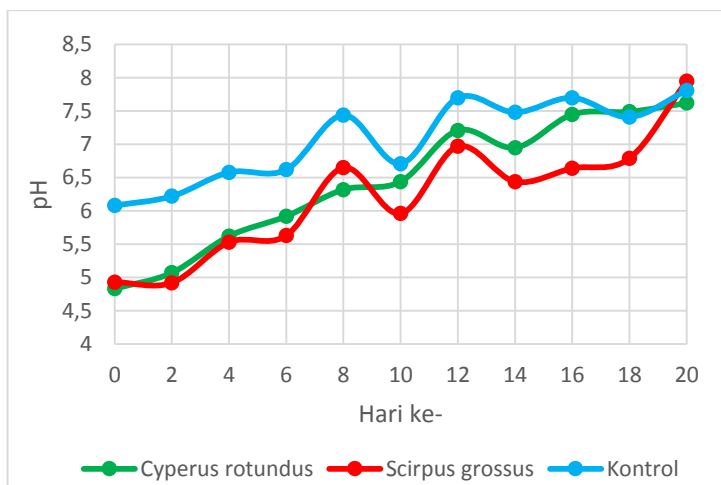
Pengukuran pH pada reaktor dengan sistem pemaparan *batch* dilakukan 2 hari sekali, sama halnya seperti analisis pada BOD, COD, dan TSS. Pengukuran pH dilakukan sebagai parameter pendukung dalam penelitian ini. Hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Gambar 4.25 sampai 4.27:



**Gambar 4.25 pH Limbah pada reaktor Limbah Rebusan**



**Gambar 4.26 pH Limbah pada Reaktor Limbah Rendaman**



**Gambar 4.27 pH Limbah pada Reaktor Limbah Campuran**

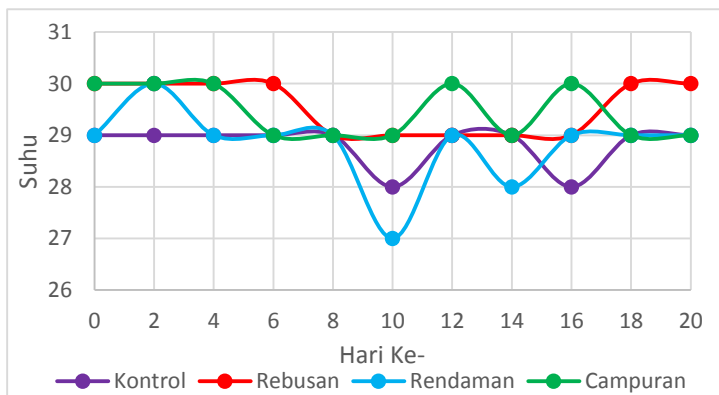
Hasil analisis pH selama tahap uji *phytotreatment* menunjukkan bahwa pH air limbah dalam reaktor berfluktuasi pada kisaran 4,93 – 8,13. Semakin lama waktu pemaparan, pH masing-masing reaktor menuju ke arah netral. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan air limbah dapat mempengaruhi nilai pH air yang diolah menjadi lebih tinggi. Keadaan ini juga dapat mengindikasikan bahwa tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* jenis tumbuhan yang mengeluarkan ion  $\text{OH}^-$ . Proses respirasi tumbuhan menghasilkan  $\text{CO}_2$  yang dapat menaikkan nilai pH. Hal ini terjadi karena  $\text{CO}_2$  yang dikeluarkan tumbuhan dari hasil respirasi dimanfaatkan kembali untuk proses fotosintesis sehingga akan menggeser keseimbangan ke arah kanan yang berarti ada pengurangan ion  $\text{H}^+$  (asam) pada limbah cair tempe. Semakin lama konsentrasi BOD dan COD semakin menurun dan mendekati stabil, maka pH menjadi naik dan mendekati netral. pH air sangat mempengaruhi proses biokimiawi dalam air. Kenaikan pH disebabkan adanya proses fotosintesis, denitrifikasi, pemecahan nitrogen organik dan reduksi sulfat (Kholidiyah, 2010).

## 6. Analisis Suhu

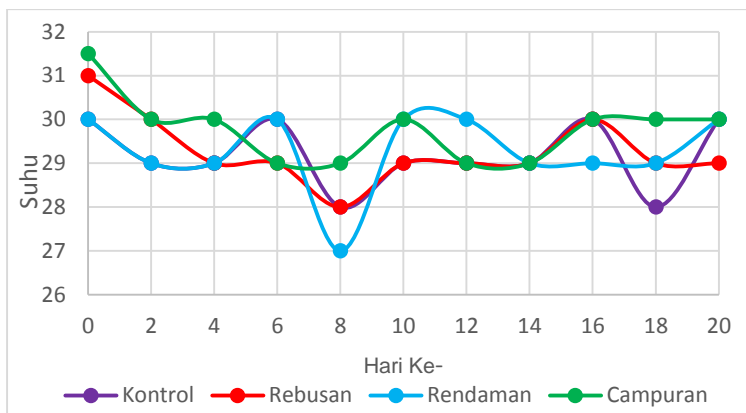
Analisis suhu dilakukan pada air limbah yang ada di dalam reaktor. Suhu diukur menggunakan *thermometer portable* yang langsung digunakan di dalam reaktor uji. Tujuan dilakukannya pengukuran suhu adalah untuk mengetahui pengaruh suhu air dalam reaktor pada efisiensi degradasi BOD, COD, dan TSS. Suhu air limbah akan berpengaruh pada aktivitas mikroorganisme maupun tumbuhan, sehingga akan mempengaruhi kinerja pengolahan air limbah yang masuk ke reaktor *SSF-Wetlands* yang akan digunakan. Di samping itu, suhu juga merupakan salah satu faktor pembatas bagi kehidupan mikroorganisme (Supradata, 2005).

Suhu air dalam reaktor dipengaruhi oleh suhu ruangan lokasi penelitian dan paparan sinar matahari pada reaktor. Intensitas sinar matahari dan suhu mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan. Suhu yang terlalu tinggi mengakibatkan pertumbuhan tumbuhan terhambat dan menyebabkan tumbuhan menjadi layu dan mati. Suhu tinggi juga mengakibatkan laju penguapan air dalam reaktor menjadi lebih cepat.

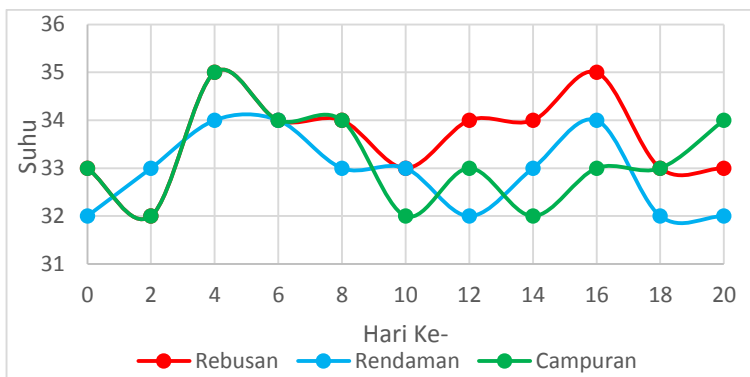
Pengukuran suhu pada reaktor dengan sistem aliran *batch* dilakukan 2 hari sekali, sama halnya seperti analisis pada BOD, COD, dan TSS. Hasil pengukuran suhu dapat dilihat pada Gambar 4.28 sampai 4.30.



**Gambar 4.28 Suhu Limbah pada Reaktor *Cyperus rotundus***



**Gambar 4.29 Suhu Limbah pada Reaktor *Scirpus grossus***



**Gambar 4.30 Suhu Limbah pada Reaktor Tanpa Tumbuhan**

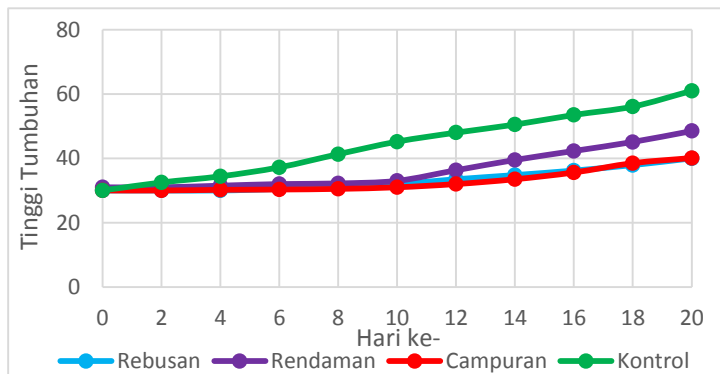
## 7. Analisis Morfologi Tumbuhan

Analisis morfologi tumbuhan dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik tumbuhan berupa tinggi tumbuhan dan jumlah daun pada tumbuhan *Cyperus rotundus*. Pengamatan tinggi tumbuhan, jumlah daun, dan lebar sisi batang dilakukan pada tumbuhan *Scirpus grossus*. Selain pengamatan karakteristik fisik tumbuhan, juga dilakukan pengamatan berat basah dan berat kering tumbuhan.

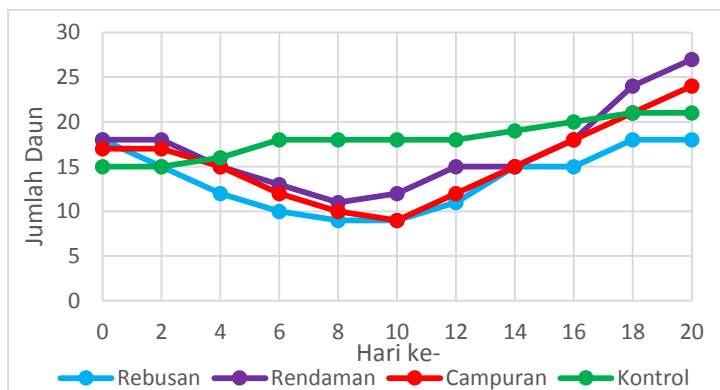
Pengamatan morfologi tumbuhan dilakukan untuk mengetahui pengaruh air limbah terhadap perkembangan tumbuhan. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan tumbuhan yang terpapar dengan limbah cair tempe dengan tumbuhan yang tidak terpapar limbah (menggunakan air PDAM).

#### a. Analisis Karakteristik Fisik *Cyperus rotundus*

Hasil analisis terhadap karakteristik tinggi tumbuhan *Cyperus rotundus* dapat dilihat pada Gambar 4.31 dan jumlah daun *Cyperus rotundus* pada Gambar 4.32.



Gambar 4.31 Tinggi *Cyperus rotundus*



Gambar 4.32 Jumlah Daun *Cyperus rotundus*

Terlihat pada Gambar 4.31 bahwa terjadi peningkatan tinggi tumbuhan dari tinggi tumbuhan saat terpapar limbah meskipun selisih pertumbuhannya tidak terlalu berbeda jauh dari tinggi awal. Pada hari pertama sampai hari ke-10, terjadi pertambahan tinggi tumbuhan 1 cm – 2 cm sedangkan pertambahan tinggi pada reaktor kontrol mencapai 15 cm. Apabila dibandingkan dengan tumbuhan pada reaktor kontrol (menggunakan PDAM), selisih rata-rata pertumbuhan tinggi tumbuhan *Cyperus rotundus* mencapai 12 cm -14 cm. Hal ini terjadi karena konsentrasi BOD dan COD limbah yang dipaparkan terhadap tumbuhan terlalu tinggi. Pada hari ke-11 sampai hari ke-20 terjadi pertambahan tinggi tumbuhan *Cyperus rotundus* mencapai 8 cm – 15 cm sedangkan pada reaktor kontrol pertambahan tinggi tumbuhan mencapai 16 cm. Hal ini terjadi karena konsentrasi BOD dan COD pada limbah sudah mengalami penurunan dengan bantuan media dalam reaktor.

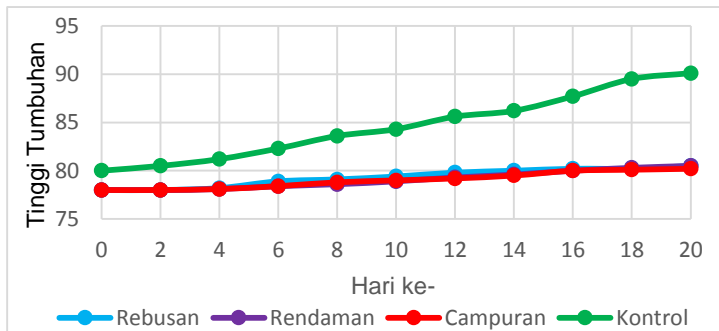
Berdasarkan Gambar 4.38 pengamatan terhadap jumlah daun *Cyperus rotundus*, menunjukkan bahwa pertambahan jumlah daun yang terpapar limbah mulai meningkat pada hari ke-11. Pada hari ke-11 jumlah daun tumbuhan pada reaktor uji mencapai 11 – 15 helai sedangkan pada reaktor kontrol jumlah daun mencapai 18 helai. Hal ini terjadi dikarenakan pada hari pertama sampai hari ke-10 konsentrasi limbah yang diterima oleh tumbuhan terlalu tinggi yang menyebabkan tumbuhan tidak mampu menyerap kontaminan yang terdapat pada limbah. Namun pada hari ke-11 tumbuhan mengalami perkembangan dengan adanya muncul tunas baru. Pada hari ke-11 konsentrasi limbah sudah mulai menurun dengan bantuan media dalam reaktor. Menurunnya konsentrasi dalam limbah menyebabkan tumbuhan mampu menyerap kontaminan yang ada dalam limbah yang membantu pertumbuhan tumbuhan. Selisih rata-rata pertumbuhan jumlah daun *Cyperus rotundus* pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 3 – 6 helai.

#### **b. Analisis karakteristik Fisik *Scirpus grossus***

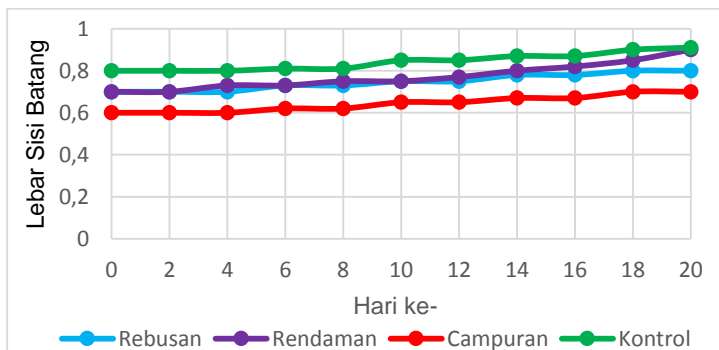
Hasil pengamatan terhadap tinggi tumbuhan *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.33. Hasil pengamatan terhadap lebar sisi batang *Scirpus grossus* dapat dilihat pada

Gambar 4.34. Hasil pengamatan terhadap jumlah daun tumbuhan *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.35.

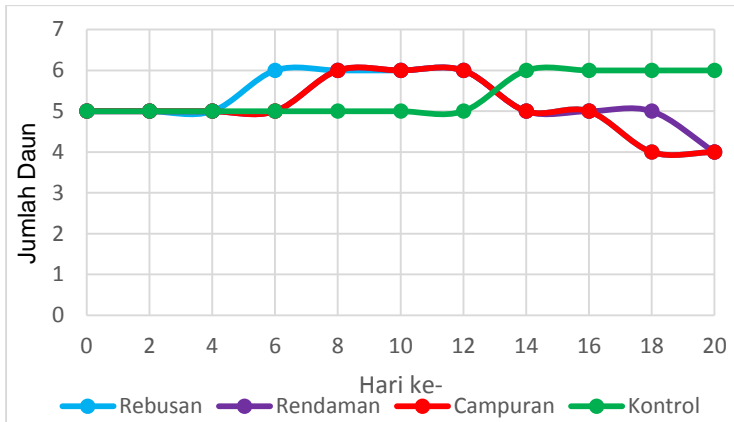
Terlihat pada Gambar 4.33 bahwa terjadi peningkatan tinggi tumbuhan yang terpapar limbah namun tidak terlalu signifikan apabila dibandingkan dengan tumbuhan pada reaktor kontrol. Pertambahan tinggi tumbuhan pada reaktor uji 2,2 cm – 2,5 cm sedangkan pertambahan tinggi tumbuhan pada reaktor kontrol mencapai 10,1 cm. Pertambahan tinggi tumbuhan pada reaktor kontrol lebih meningkat daripada tumbuhan pada reaktor uji, terjadi karena konsentrasi limbah pada reaktor uji terlalu tinggi yang menyebabkan tumbuhan sulit untuk bertambah tinggi. Selisih rata-rata tinggi tumbuhan pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 10 cm.



**Gambar 4.33 Tinggi *Scirpus grossus***



**Gambar 4.34 Lebar Sisi Batang *Scirpus grossus***



**Gambar 4.35 Jumlah Daun *Scirpus grossus***

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap lebar sisi batang *Scirpus grossus* pada Gambar 4.34 menunjukkan bahwa pertambahan lebar sisi batang yang terpapar limbah dan pertambahan lebar sisi batang pada reaktor kontrol tidak terlalu berbeda jauh pada saat awal penelitian. Pada reaktor uji dan reaktor kontrol pertambahan lebar sisi batang mencapai 0,1 cm - 0,2 cm.

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap jumlah daun *Scirpus grossus* pada Gambar 4.35 menunjukkan bahwa pertambahan jumlah daun tumbuhan terjadi pada pertengahan penelitian yaitu pada hari ke-11 dan kemudian semakin berkurang. Hal ini diduga terjadi karena konsentrasi limbah terlalu tinggi yang menyebabkan tumbuhan *Scirpus grossus* tidak dapat bertahan hidup sampai hari ke-20. Warna daun *Scirpus grossus* pada hari ke-20, 50% daun tumbuhan menguning dan kering.

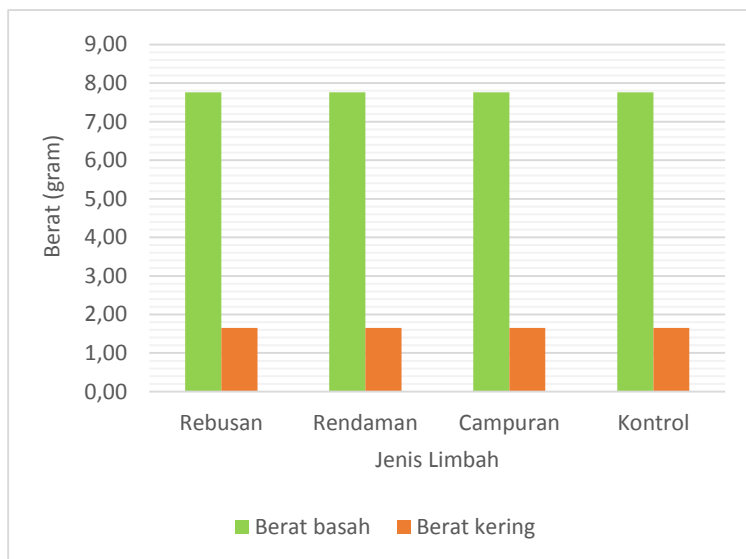
### **c. Analisis Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan**

Analisis berat basah dan berat kering tumbuhan dilakukan untuk mengetahui pengaruh limbah cair tempe terhadap biomassa tumbuhan dan kadar air tumbuhan. Analisis berat basah dan berat kering tumbuhan dilakukan pada hari 0, hari ke-7, dan hari ke-20. Hasil analisis berat basah dan berat kering tumbuhan *Cyperus rotundus* dapat dilihat pada Gambar 4.36 sampai 4.38 dan berat

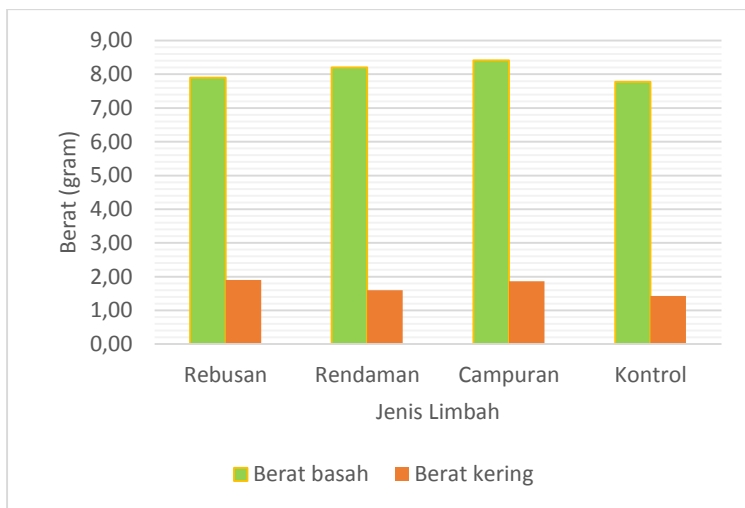


basah dan berat kering tumbuhan *Scirpus grossus* pada Gambar 4.39 sampai 4.41.

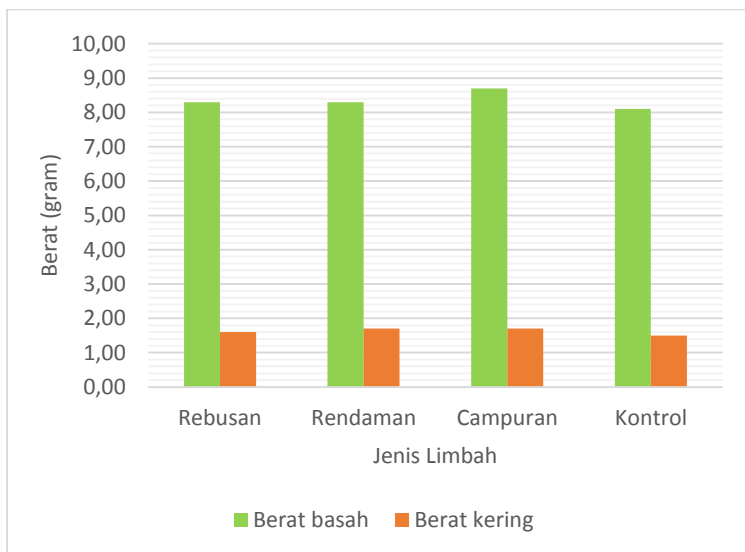
Analisis berat basah dan berat kering tumbuhan *Cyperus rotundus* pada hari 0 dapat dilihat pada Gambar 4.36 dan tumbuhan *Scirpus grossus* pada Gambar 4.39. Gambar 4.36 dan Gambar 4.39 menunjukkan bahwa berat basah dan berat kering tumbuhan dalam semua reaktor sama. Berat basah dan berat kering tumbuhan pada hari ke-7 dan hari ke-20 pada masing-masing jenis limbah, dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan besar berat kering tumbuhan antara reaktor dengan limbah dan tanpa limbah (kontrol). Begitu pula dengan antar reaktor dengan jenis limbah yang berbeda. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa air limbah tidak berpengaruh terhadap biomassa dan kadar air tumbuhan. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan tidak berpengaruh besar terhadap removal pencemar pada limbah cair tempe. Melainkan mikroorganisme yang terdapat pada media yang berperan besar.



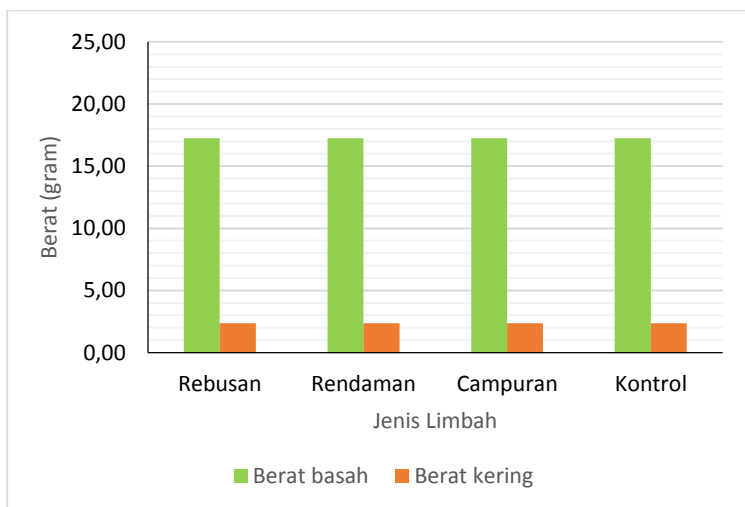
**Gambar 4.36 Analisis Berat Basah dan Berat Kering *Cyperus rotundus* Hari 0**



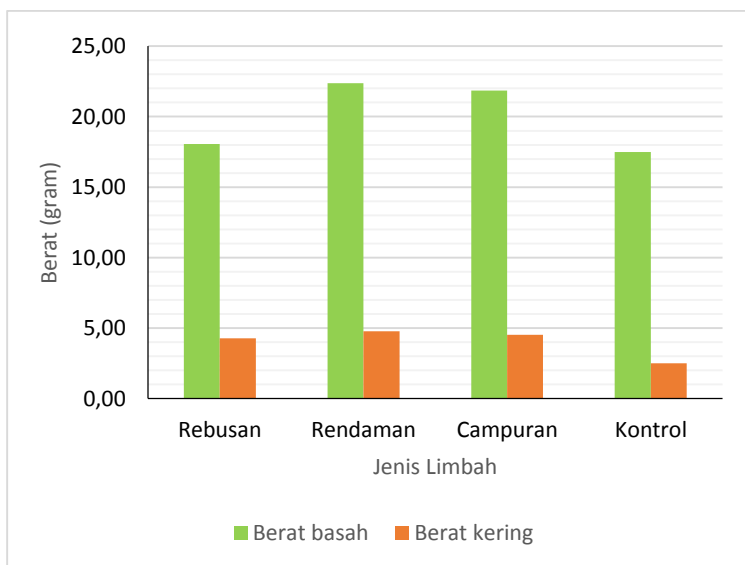
**Gambar 4.37 Berat Basah dan Berat Kering *Cyperus rotundus* Hari ke 7**



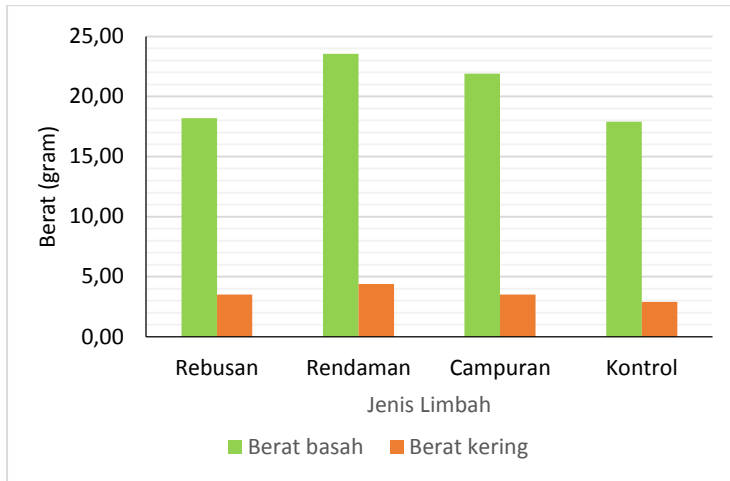
**Gambar 4.38 Berat Basah dan Berat kering *Cyperus rotundus* Hari ke 21**



**Gambar 4.39 Berat Basah dan Berat Kering *Scirpus grossus* Hari 0**



**Gambar 4.40 Berat Basah dan Berat Kering *Scirpus grossus* Hari ke 7**



**Gambar 4.41 Berat Basah dan Berat Kering *Scirpus grossus* Hari 21**

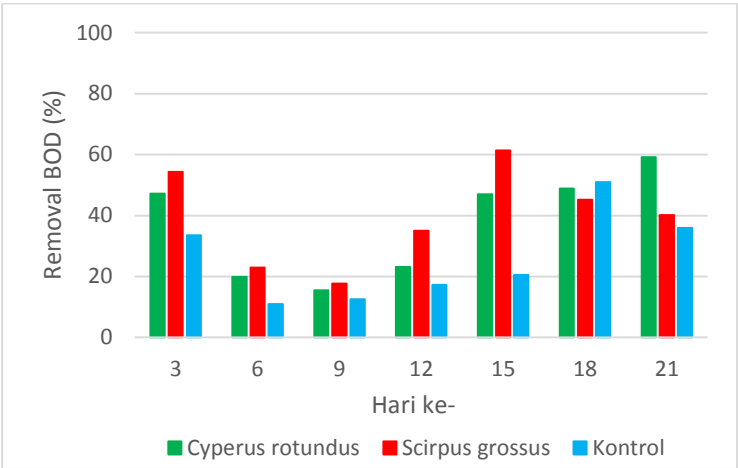
#### **4.5.2 Analisis Parameter dengan Aliran *Intermittent***

Parameter yang dianalisis pada penelitian dengan aliran *intermittent* yaitu BOD, COD, rasio BOD/COD, TSS dan parameter pendukungnya yaitu pH, suhu, dan morfologi tumbuhan. Berikut penjelasan masing-masing analisis parameter.

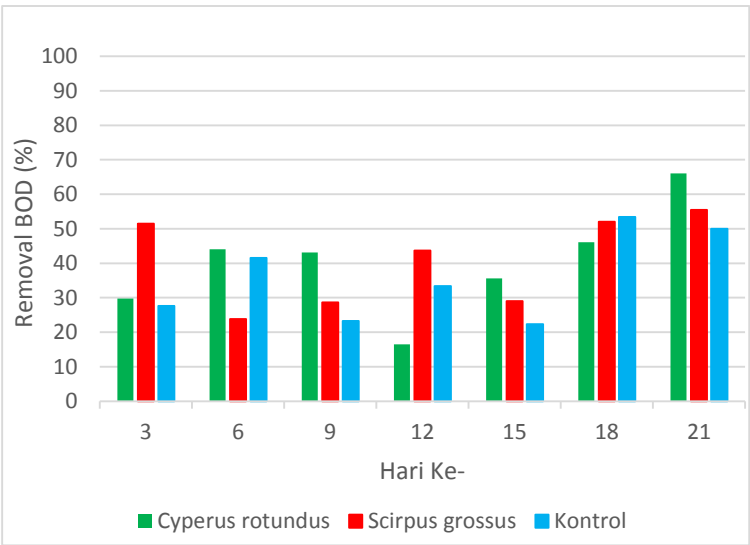
##### **1. Analisis Parameter BOD**

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme dalam mengoksidasi bahan organik dalam kondisi aerobik (Metcalf & Eddy, 1991). Proses analisis BOD ini menggunakan parameter BOD<sub>5</sub>, yaitu proses analisa sampel yang dilakukan untuk waktu nol hari dan inkubasi selama lima hari. Hasil analisis BOD dengan sistem pemaparan *intermittent*. Persentasi removal BOD dalam limbah rebusan dapat dilihat pada Gambar 4.42. Presentasi removal BOD pada limbah rendaman dapat dilihat

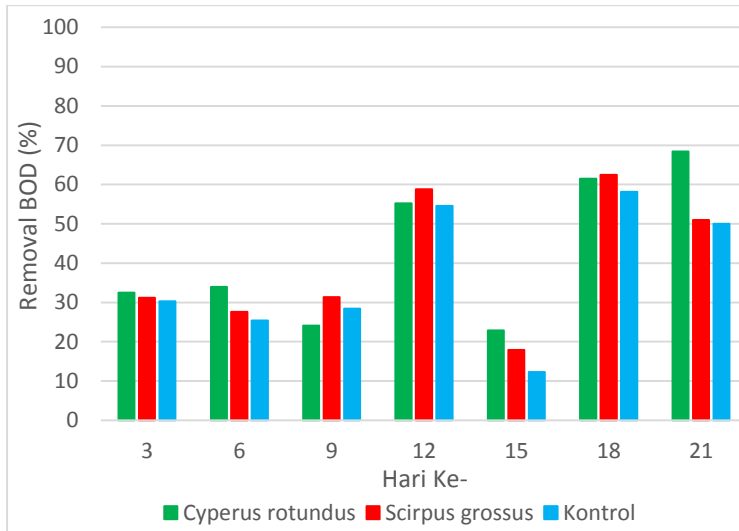
pada Gambar 4.43. Presentasi removal BOD dalam limbah campuran dapat dilihat pada Gambar 4.44.



**Gambar 4.42 Persentasi Removal BOD dalam Limbah Rebusan**



**Gambar 4.43 Persentasi Removal BOD dalam Limbah Rendaman**



**Gambar 4.44 Persentasi Removal BOD dalam Limbah Campuran**

Berdasarkan Gambar 4.42 sampai 4.44, dapat dilihat bahwa pada setiap reaktor terjadi penurunan konsentrasi BOD. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh tumbuhan dan media. Adanya akar tumbuhan memberikan tempat bagi mikroorganisme untuk berkembang baik dan nilai BOD secara keseluruhan menurun dikarenakan adanya pengolahan terhadap BOD yang dilakukan oleh media (Kusumastuti dkk, 2015). Proses pengolahan air limbah yang terjadi pada reaktor uji adalah filtrasi, absorpsi oleh mikroorganisme dan adsorpsi bahan organik oleh akar-akar tumbuhan (Novotny dan Olem, 1993). Terjadinya penurunan bahan organik dalam SSF-*wetland*, menurut Tangahu & Warmadewanthi (2001) penurunan konsentrasi bahan organik dalam sistem *wetlands* terjadi karena adanya mekanisme aktivitas mikroorganisme dan tumbuhan, melalui proses oksidasi oleh bakteri aerob yang tumbuh di sekitar *rhizosphere* tumbuhan maupun kehadiran bakteri heterotrof di dalam air limbah. Mekanisme penurunan biologi terjadi karena aktivitas mikrobiologi di akar. Akar tumbuhan meningkatkan kepadatan dan aktivitas mikroba yang disediakan oleh permukaan akar untuk pertumbuhan mikroba (Vymazal, 2008).

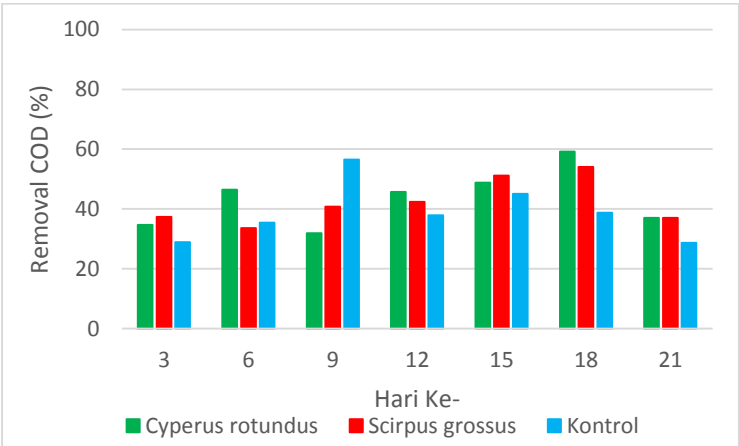
Secara keseluruhan nilai removal BOD tertinggi terjadi pada hari ke-21. Pada reaktor dengan limbah rebusan menggunakan *Cyperus rotundus* terjadi removal BOD sebesar 59%, menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* sebesar 40%, sedangkan tanpa tumbuhan (kontrol) sebesar 36%. Reaktor dengan limbah rendaman menggunakan *Cyperus rotundus* terjadi removal BOD sebesar 66%, menggunakan *Scirpus grossus* sebesar 55%, sedangkan tanpa tumbuhan sebesar 50%. Reaktor dengan limbah campuran menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus* terjadi removal BOD sebesar 68%, menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* sebesar 51%, sedangkan tanpa tumbuhan sebesar 50%. Penerapan siklus *flood* dan *drain* pada sistem pemaparan *intermittent* berpengaruh dalam penurunan konsentrasi BOD, kemampuan tumbuhan dan media dalam menyerap bahan organik semakin lama akan semakin meningkat karena pada siklus *drying* (pengeringan) memberikan waktu untuk tumbuhan dan media memulihkan kemampuannya dalam menyerap kontaminan yang terkandung dalam air limbah. Meskipun kemampuan tumbuhan dan media tidak dapat pulih seperti pada awal sebelum terpapar limbah (Tangahu, 2016).

Oksigen merupakan unsur hara yang penting dalam metabolisme pada tumbuhan. Pada sistem pemaparan *intermittent*, masuknya oksigen ke dalam pori-pori media dapat membantu penguraian zat organik secara aerob (Kadlec dan Wallace, 2009). Sehingga hal ini membantu dalam menyediakan kebutuhan oksigen yang memungkinkan tumbuhnya mikroorganisme aerob dalam zona akar yang melakukan aktivitas penguraian. Ketersediaan oksigen yang cukup pada reaktor uji menjadikan aktivitas mikroorganisme berjalan dengan baik dalam mengolah limbah cair tempe.

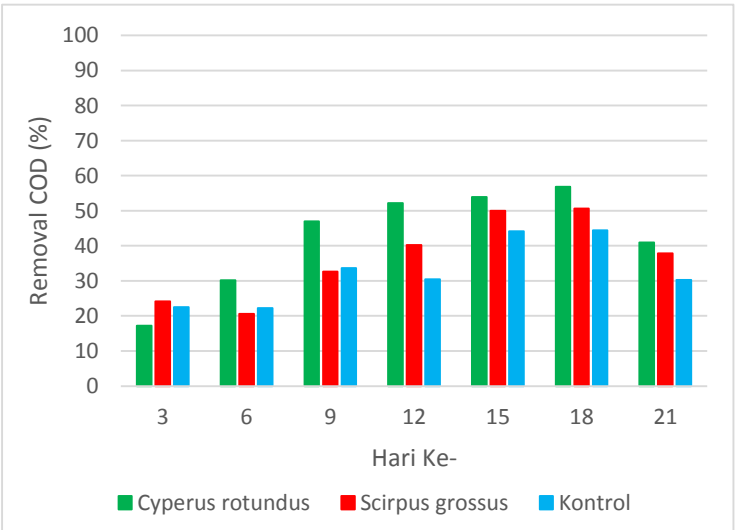
## **2. Analisis Parameter COD**

Nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) menunjukkan kadar organik dalam air sampel yang dapat dioksidasi secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis (Fandya, 2011). Hasil analisis COD dengan sistem pemaparan *intermittent*. Pada Gambar 4.45

dapat dilihat presentasi removal dalam limbah rebusan, dalam limbah rendaman pada Gambar 4.46, dan dalam limbah campuran pada Gambar 4.47.

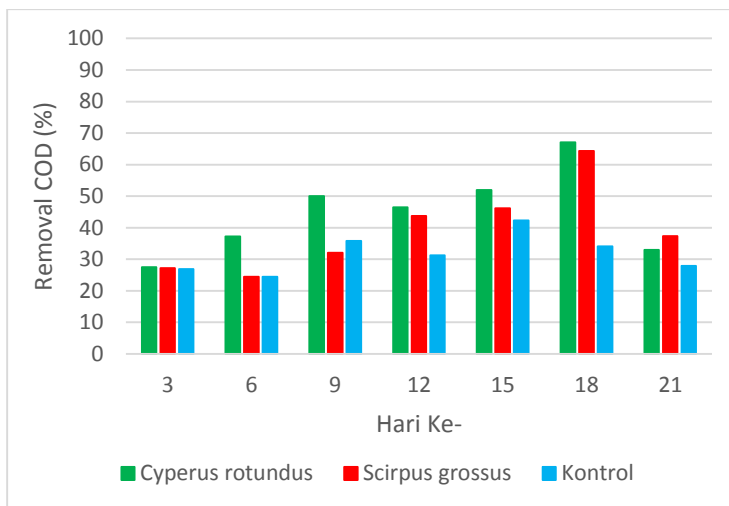


**Gambar 4.45 Persentasi Removal COD dalam Limbah Rebusan**



**Gambar 4.46 Persentasi Removal COD dalam Limbah Rendaman**





**Gambar 4.47 Persentasi Removal COD dalam Limbah Campuran**

Berdasarkan Gambar 4.45 sampai 4.47, dapat dilihat bahwa terjadi penyisihan COD pada setiap reaktor. Hal ini terjadi karena COD yang berhubungan dengan zat yang terendapkan di dalam air limbah dihilangkan oleh proses sedimentasi. COD terlarut dan dalam bentuk koloid yang masih tersisa dalam larutan dapat dihilangkan sebagai hasil dari aktivitas metabolisme dan interaksi kimia fisik dalam zona perakaran/matrik substrat (Kusumastuti, 2015).

Berdasarkan data hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi COD cenderung sejalan dengan penurunan konsentrasi BOD secara bertahap, hal ini mengindikasikan bahwa bahan organik yang terkandung dalam air limbah sebagian besar merupakan bahan organik yang bersifat *biodegradable* (dapat terdegradasi secara biologis).

Nilai removal COD pada hari ke-21 terjadi pada reaktor dengan limbah rebusan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus* sebesar 37%, menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* sebesar 37%, sedangkan tanpa tumbuhan sebesar 29%. Pada reaktor dengan limbah rendaman menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus* terjadi removal COD sebesar 41%,

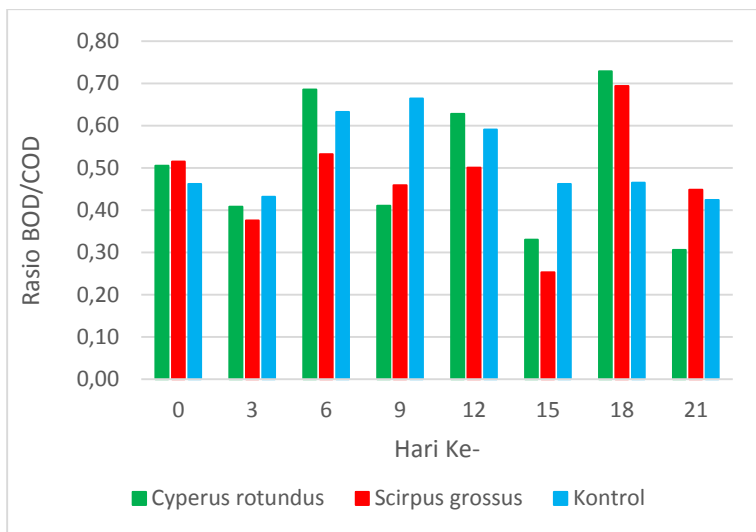
menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* sebesar 38%, sedangkan tanpa tumbuhan sebesar 30%. Pada reaktor dengan limbah campuran menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus* terjadi removal COD sebesar 33%, menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* sebesar 37%, sedangkan tanpa tumbuhan sebesar 28%.

Kenaikan removal COD terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme dalam reaktor. Penurunan parameter limbah sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme dan kemampuan tumbuhan dalam menyerap unsur hara, oleh karena itu semakin lama waktu pemaparan, maka semakin tinggi kenaikan removal parameter limbah melalui adanya mekanisme biodegradasi (Dhamayanthie, 2000). Penerapan siklus *flooding* selama 2 hari dan *drying* selama 1 hari memberikan kesempatan untuk tumbuhan memulihkan kemampuannya dalam menyerap polutan dari air limbah pada saat *drying* (pengeringan). Pada reaktor kontrol (tanpa tumbuhan) juga mengalami kenaikan nilai removal COD. Kenaikan nilai removal COD pada reaktor kontrol terjadi karena adanya pengaruh mikroorganisme yang tumbuh pada media kerikil dan pasir pada reaktor. Media berperan sebagai tempat menempelnya mikroorganisme sehingga memperluas permukaan sistem lahan basah buatan.

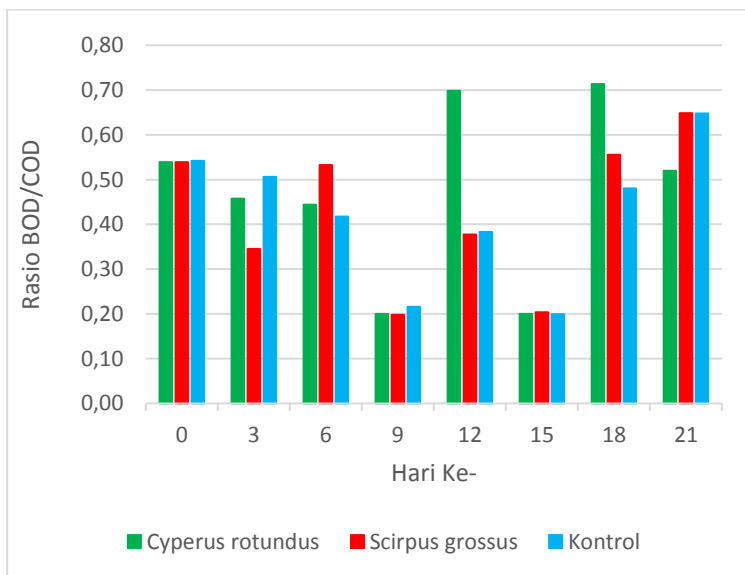
### 3. Analisis Rasio BOD/COD

Rasio BOD/COD digunakan untuk mengetahui tingkat biodegradabilitas dalam air limbah. Semakin tinggi rasio BOD/COD semakin tinggi biodegradabilitas air limbah. Berdasarkan Mangkoedihardjo dan Samudro 2010, air limbah yang memiliki rasio BOD/COD lebih dari 0,1 maka air limbah tersebut memiliki sifat *biodegradable*. Hasil analisis terhadap rasio BOD/COD dengan sistem aliran *intermittent* dapat dilihat pada Gambar 4.48 sampai 4.50.

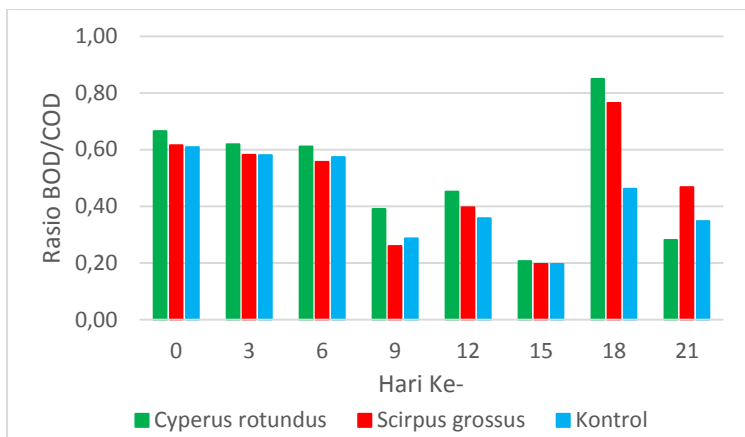
Berdasarkan Gambar 4.48 sampai 4.50, dapat dilihat rasio BOD/COD limbah cari tempe berada diantara 0,2 - 0,9



**Gambar 4.48 Rasio BOD/COD pada Limbah Rebusan**



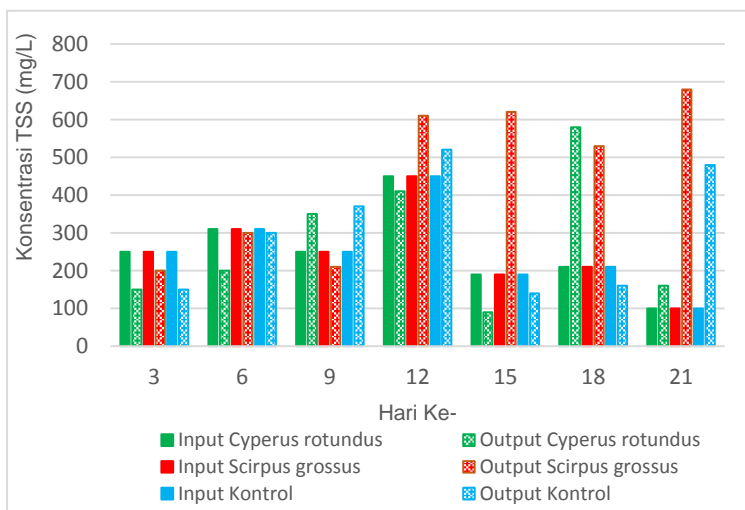
**Gambar 4.49 Rasio BOD/COD pada Limbah Rendaman**



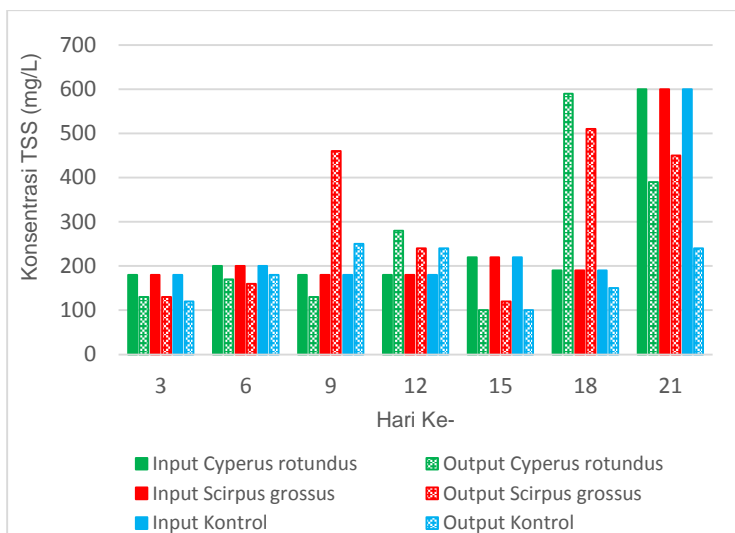
**Gambar 4.50 Rasio BOD/COD pada Limbah Campuran**

#### 4. Analisis TSS

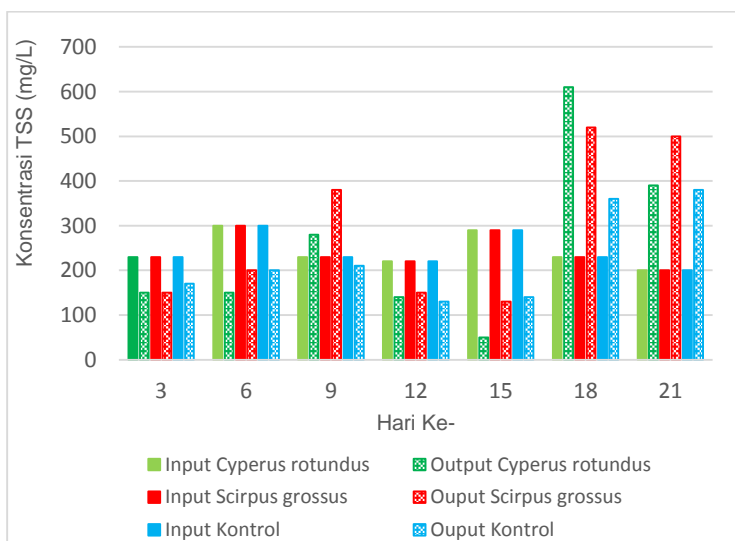
Hasil analisis TSS dengan aliran *Intermitten* dapat dilihat pada Gambar 4.51 sampai 4.53 .



**Gambar 4.51 Konsentrasi TSS pada Limbah Rebusan**



**Gambar 4.52 Konsentrasi TSS pada Limbah Rendaman**

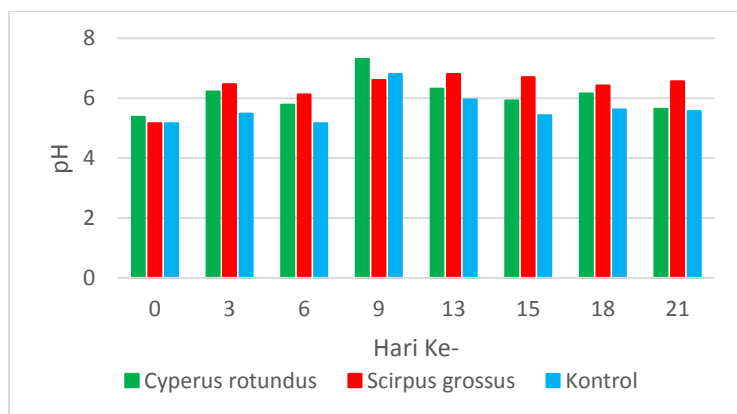


**Gambar 4.53 Konsentrasi TSS pada Limbah Campuran**

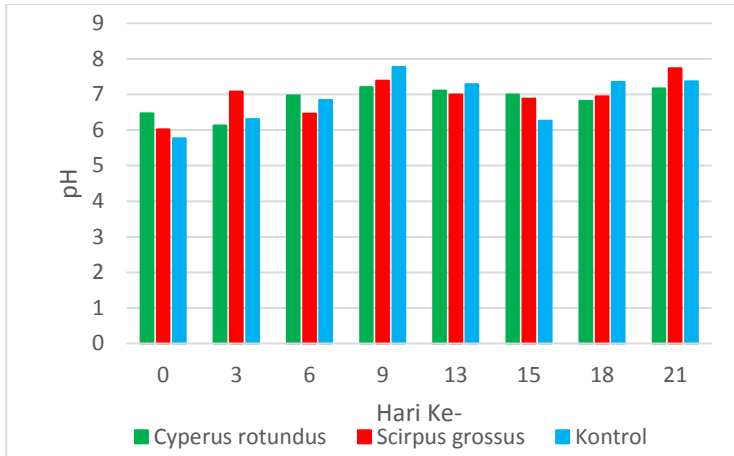
Berdasarkan Gambar 4.57 sampai 4.59 dapat dilihat bahwa penurunan TSS tidak sesuai apabila menggunakan reaktor *subsurface flow constructed wetlands*. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan TSS hanya efektif dalam 2 kali siklus pada awal uji *phytotreatment* yaitu terjadinya penurunan konsentrasi TSS. Namun pada siklus selanjutnya konsentrasi TSS output berfluktuasi dan terjadi kenaikan konsentrasi TSS dalam sebagian besar reaktor. Hal ini diduga tidak efektif karena pada siklus sebelumnya TSS tidak terolah secara optimal, sehingga pada siklus selanjutnya TSS yang belum terolah terakumulasi dengan TSS air limbah yang baru.

## 5. Analisis pH

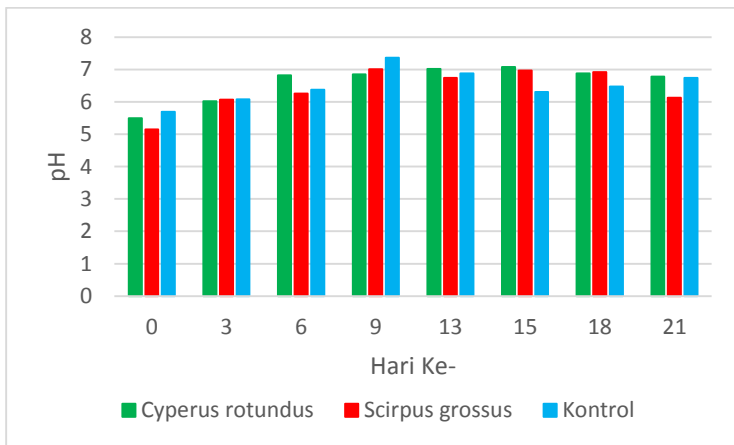
Pengukuran pH pada reaktor dengan sistem pemaparan *intermittent* dilakukan pada reaktor yang akan memasuki masa *drying*, sama halnya seperti analisis pada BOD, COD, dan TSS. Pengukuran pH dilakukan sebagai parameter pendukung dalam penelitian ini. Analisis pH limbah pada reaktor limbah rebusan dapat dilihat pada Gambar 4.56. Analisis pH limbah pada reaktor limbah rendaman dapat dilihat pada Gambar 4.57. Analisis pH limbah pada reaktor limbah campuran dapat dilihat pada Gambar 4.58.



**Gambar 4.54 pH Limbah pada Reaktor Limbah Rebusan**



**Gambar 4.55 pH Limbah pada Reaktor Limbah Rendaman**

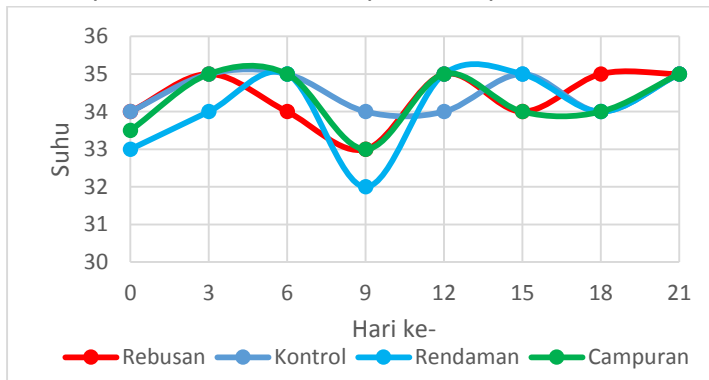


**Gambar 4.56 pH Limbah pada Reaktor Limbah Campuran**

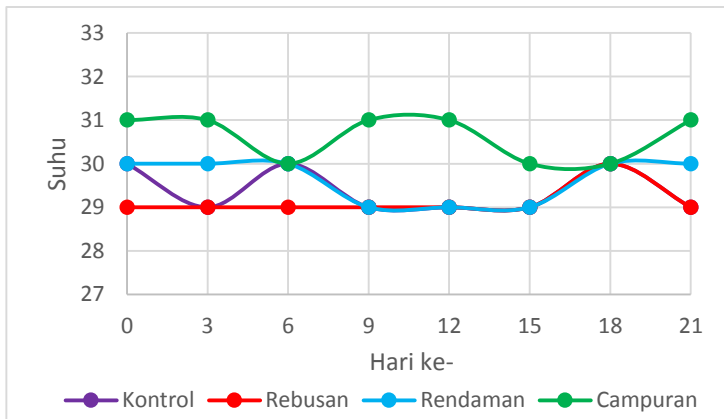
pH limbah dengan sistem pemaparan *intermittent* menunjukkan kisaran 5,15 – 7,78. Sama halnya dengan sistem pemaparan *batch*, pH limbah pada reaktor dengan sistem pemaparan *intermittent* meningkat ke arah netral dengan pH= 7 dengan bantuan dari tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*.

## 6. Analisis Suhu

Pengukuran suhu pada reaktor dengan sistem paparan *intermittent* dilakukan pada reaktor yang akan memasuki masa *drying*, sama halnya seperti analisis pada BOD, COD, dan TSS. Pengukuran suhu dilakukan sebagai parameter pendukung dalam penelitian ini. Analisis suhu limbah pada reaktor *Cyperus rotundus* dapat dilihat pada Gambar 4.57. Analisis suhu limbah pada reaktor *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.58. Analisis suhu limbah pada reaktor kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.59.

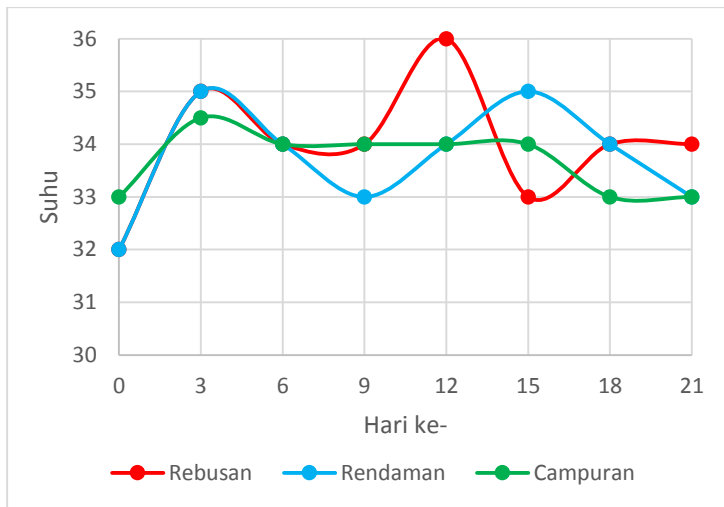


**Gambar 4.57 Suhu Limbah pada Reaktor *Cyperus rotundus***



**Gambar 4.58 Suhu Limbah pada Reaktor *Scirpus grossus***





**Gambar 4.59 Suhu Limbah pada Reaktor Tanpa Tumbuhan**

Berdasarkan Gambar 4.57 sampai 4.59, pada uji *phytotreatment* suhu reaktor berkisar 29°C – 36°C. Suhu air dalam reaktor dipengaruhi oleh suhu ruangan lokasi penelitian dan paparan sinar matahari. Reaktor diletakkan dalam *green house* di luar laboratorium dan dilakukan pemasangan paranet supaya matahari tidak mengenai tumbuhan secara langsung.

## 7. Analisis Morfologi Tumbuhan

Analisis morfologi tumbuhan dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik tumbuhan berupa tinggi tumbuhan dan jumlah daun pada tumbuhan *Cyperus rotundus*. Pengamatan terhadap tinggi tumbuhan, lebar sisi batang, dan jumlah daun pada tumbuhan *Scirpus grossus*. Selain pengamatan terhadap karakteristik tumbuhan, juga dilakukan pengamatan terhadap berat basah dan berat kering tumbuhan.

Analisis morfologi tumbuhan ini berfungsi untuk mengetahui pengaruh limbah terhadap perkembangan tumbuhan. Analisis dilakukan dengan membandingkan tumbuhan yang

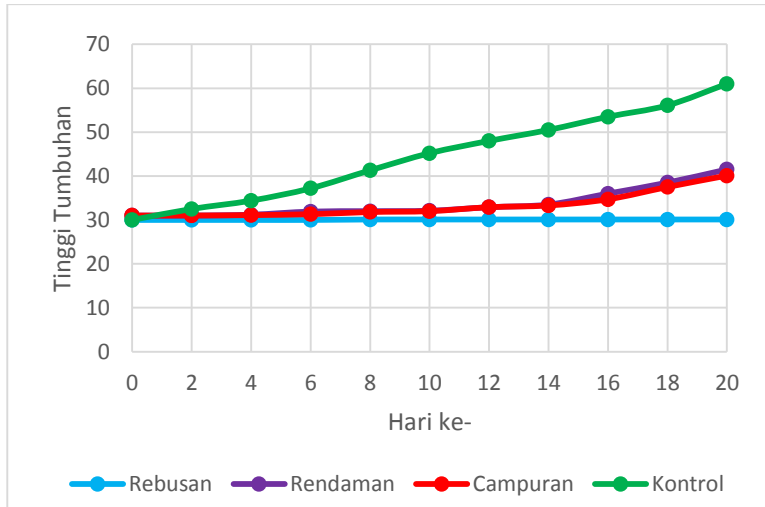
terpapar limbah dengan tumbuhan yang tidak terpapar limbah (menggunakan air PDAM).

**a. Karakteristik Fisik *Cyperus rotundus***

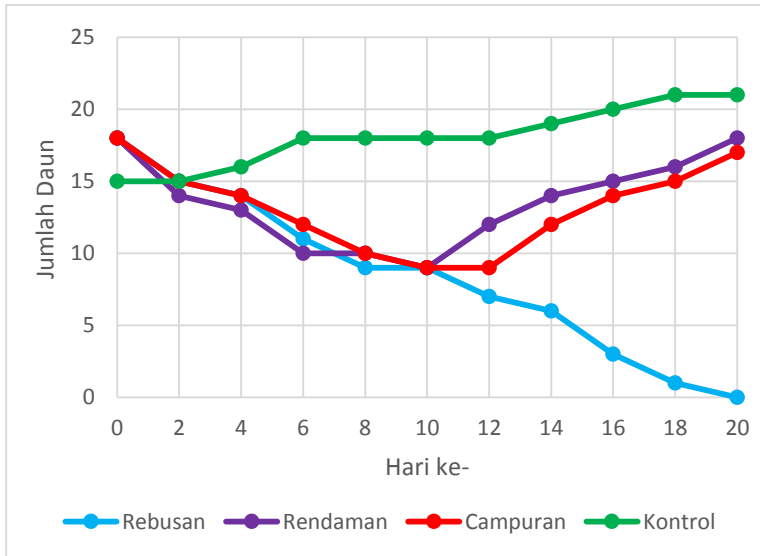
Hasil pengamatan terhadap tinggi tumbuhan *Cyperus rotundus* dapat dilihat pada Gambar 4.60. Hasil pengamatan terhadap jumlah daun tumbuhan *Cyperus rotundus* dapat dilihat pada Gambar 4.61.

Gambar 4.60 menunjukkan bahwa tinggi tumbuhan yang terpapar oleh limbah hanya mengalami sedikit pertambahan tinggi yaitu 9 cm – 10 cm apabila dibandingkan dengan kontrol yang pertambahan tingginya mencapai 31 cm. Hal ini menunjukkan bahwa tumbuhan yang terpapar limbah sulit bertahan hidup, diduga karena konsentrasi limbah yang ditambahkan setiap *flooding* terlalu tinggi sehingga tumbuhan tidak mampu menyerap kontaminan dalam limbah cair. Pertambahan tinggi tumbuhan dimulai pada hari ke-10, tumbuhan dalam limbah rendaman dan campuran mulai menunjukkan adanya pertambahan tinggi tumbuhan yaitu 1 cm. Hal ini terjadi karena tumbuhan mulai beradaptasi dengan konsentrasi limbah yang dipaparkan. Sedangkan tumbuhan dalam limbah rebusan tidak mengalami pertambahan tinggi tumbuhan, karena konsentrasi limbah rebusan lebih tinggi dari limbah rendaman dan campuran. Hal ini menyebabkan tumbuhan sulit untuk berkembang dalam reaktor.

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap jumlah daun *Cyperus rotundus* pada Gambar 4.61 menunjukkan bahwa dalam limbah rebusan tumbuhan tidak dapat bertahan hidup. Hal ini menandakan pertumbuhan *Cyperus rotundus* terhambat dengan adanya limbah. Sedangkan dalam limbah rendaman dan campuran jumlah daun tumbuhan bertambah pada hari ke-10. Hal ini menandakan pada hari ke-10 berlangsung proses fitodegradasi terhadap kontaminan yang diserap kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).



**Gambar 4.60 Tinggi *Cyperus rotundus***



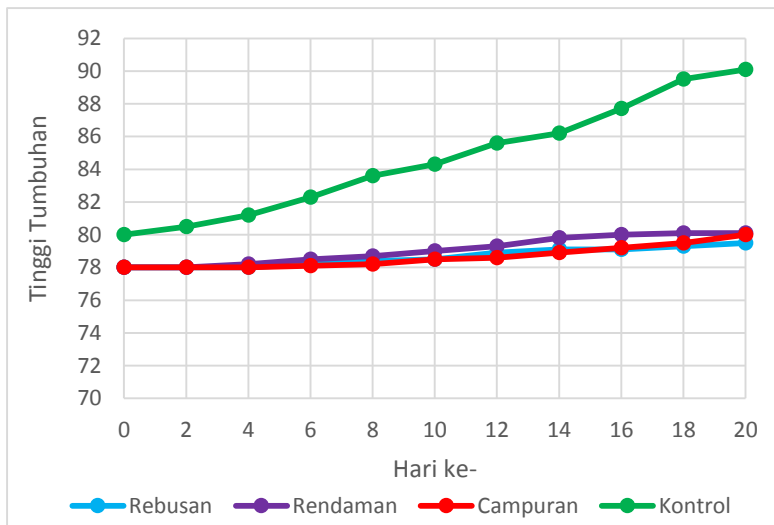
**Gambar 4.61 Jumlah Daun *Cyperus rotundus***

### b. Karakteristik Fisik *Scirpus grossus*

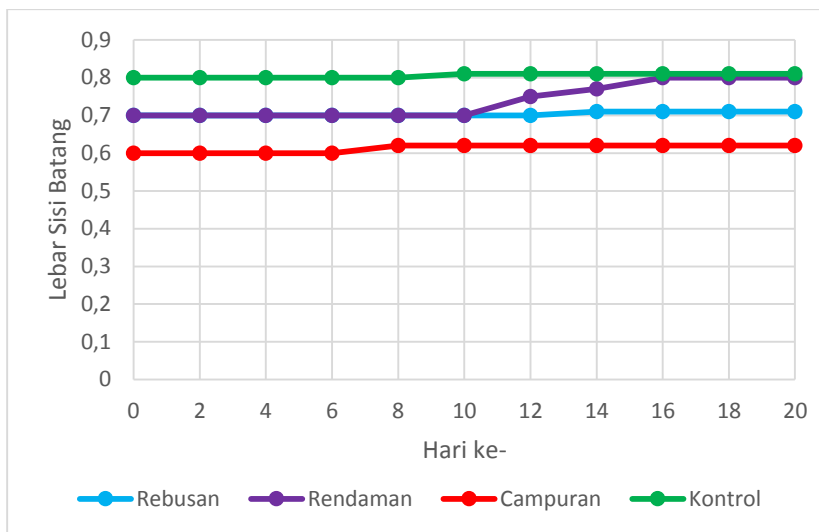
Hasil pengamatan terhadap tinggi tumbuhan *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.62. Hasil pengamatan terhadap lebar sisi batang tumbuhan *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.63. Hasil pengamatan terhadap jumlah daun tumbuhan *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 4.64.

Berdasarkan Gambar 4.62, dapat dilihat bahwa pertambahan tinggi tumbuhan yang terpapar limbah dengan tumbuhan dengan kontrol jauh berbeda. Pertambahan tinggi tumbuhan uji hanya 1,5 cm -2 cm sedangkan pertambahan tinggi tumbuhan pada reaktor kontrol mencapai 10cm. Hal ini menandakan bahwa limbah menghambat pertumbuhan *Scirpus grossus*, karena konsentrasi kontaminan limbah yang tinggi.

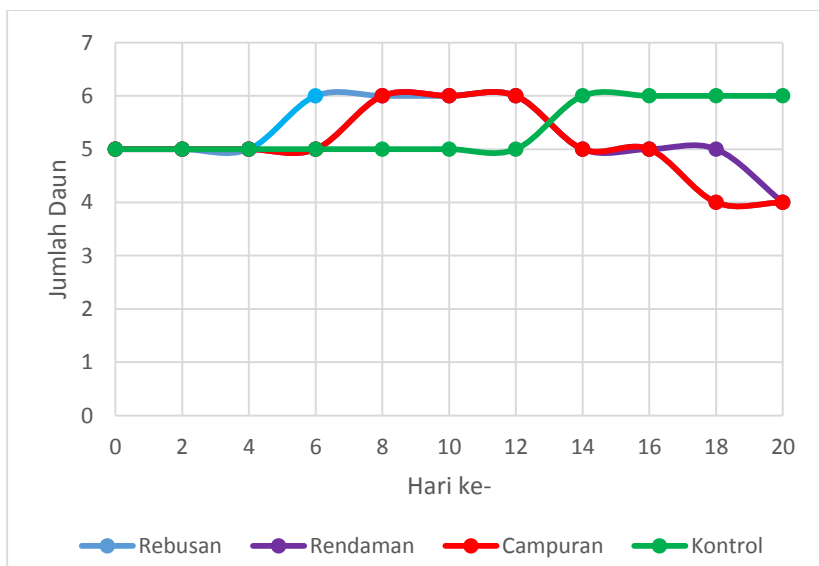
Berdasarkan Gambar 4.63, dapat dilihat bahwa lebar sisi batang *Scirpus grossus* tidak mengalami perkembangan yang signifikan. Pertambahan lebar sisi batang *Scirpus grossus* pada reaktor uji dan kontrol tidak jauh berbeda yaitu 0,01 cm– 0,1 cm Hal ini menandakan bahwa tumbuhan sulit bertahan hidup dalam reaktor.



**Gambar 4.62 Tinggi *Scirpus grossus***



**Gambar 4.63 Lebar Sisi Batang *Scirpus grossus***



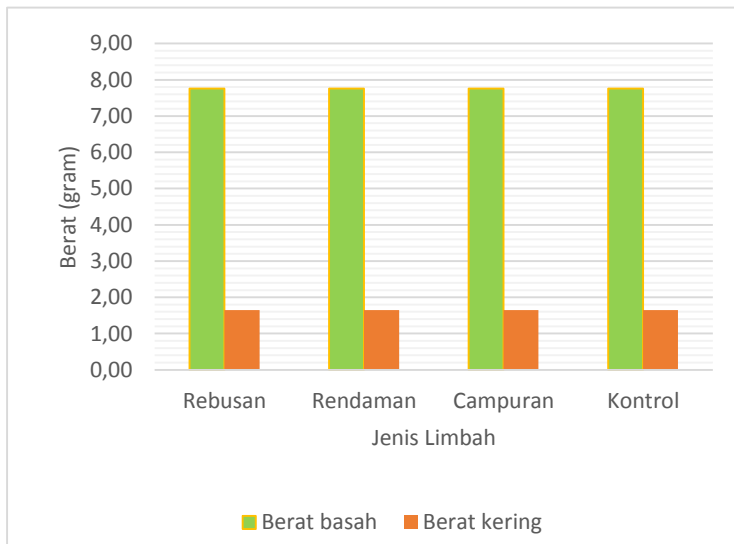
**Gambar 4.64 Jumlah Daun *scirpus grossus***

Gambar 4.64 menunjukkan bahwa jumlah daun *Scirpus grossus* tidak mengalami pertambah jumlah daun tetapi semakin berkurang. Hal ini menandakan tumbuhan tidak mengalami pertumbuhan dalam reaktor yang terpapar limbah.

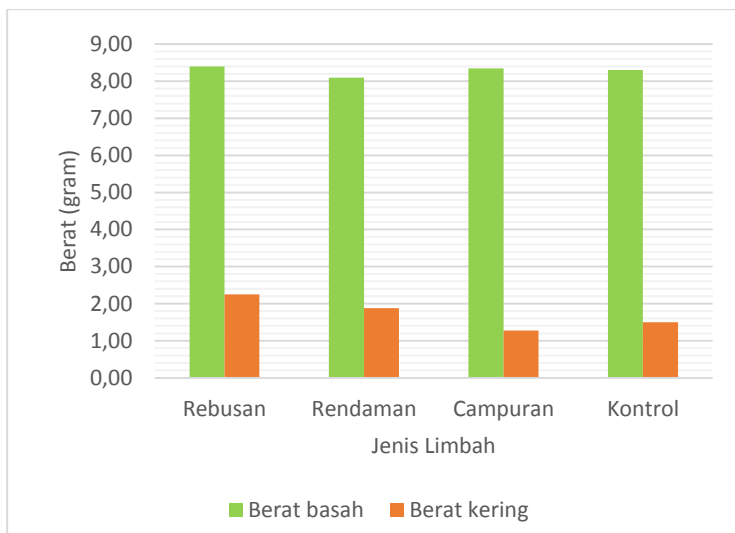
### c. Analisis Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan

Analisis berat basah dan berat kering tumbuhan dilakukan untuk mengetahui biomassa yang terkandung dalam tumbuhan. Biomassa tumbuhan ini menunjukkan akumulasi senyawa organik yang disintesis dari senyawa anorganik yang dihasilkan oleh bakteri kemudian digunakan oleh tumbuhan untuk proses pertumbuhannya (Tangahu *et al.*, 2003). Hasil analisis berat basah dan berat kering tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 4.65 sampai 4.70.

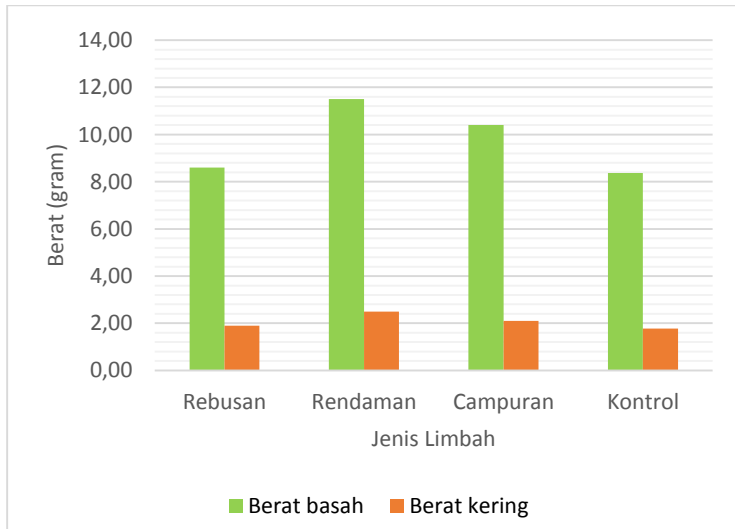
Gambar 4.65 merupakan berat basah dan berat kering *Cyperus rotundus* pada hari 0 dan Gambar 4.68 berat basah dan berat kering *Scirpus grossus*, dapat dilihat bahwa berat basah dan berat kering masing-masing reaktor masih sama.



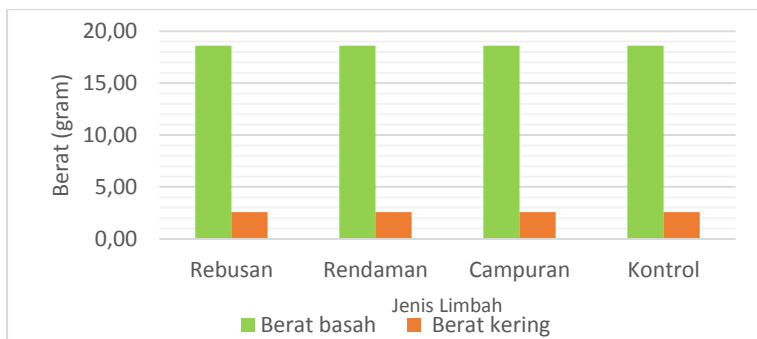
**Gambar 4.65 Berat basah dan Berat Kering *Cyperus rotundus* Hari 0**



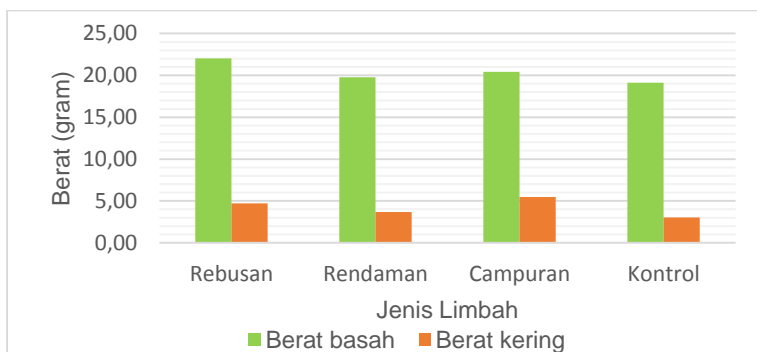
**Gambar 4.66 Berat Basah dan Berat Kering *Cyperus rotundus* Hari ke 7**



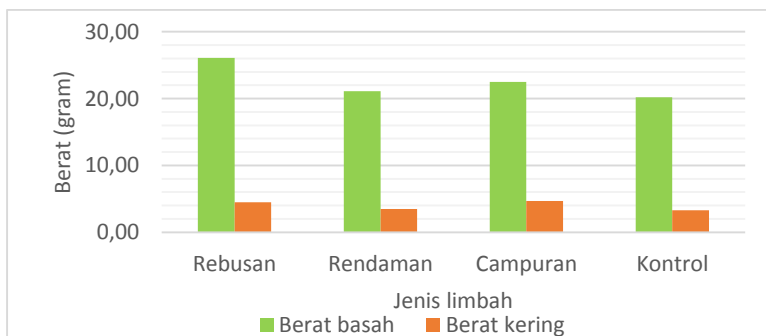
**Gambar 4.67 Berat Basah dan Berat Kering *Cyperus rotundus* Hari ke 21**



**Gambar 4.68 Berat Basah dan Berat Kering *Scirpus grossus* Hari 0**



**Gambar 4.69 Berat Basah dan Berat Kering *scirpus grossus* Hari 7**



**Gambar 4.70 Berat Basah dan Berat Kering *Scirpus grossus* Hari ke 21**



Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 4.65 sampai Gambar 4.70 dapat diketahui bahwa tidak terdapat perbedaan besar berat kering tumbuhan antara reaktor dengan limbah dan dengan tanpa limbah (kontrol). Begitu pula dengan antar reaktor pada jenis limbah yang berbeda. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa air tidak berpengaruh terhadap biomassa tumbuhan. Hal ini menandakan bahwa tumbuhan tidak berpengaruh besar terhadap removal pencemar pada limbah cair tempe. Melainkan mikroorganisme di media yang berperan besar.

#### **4.5.3 Sistem Aliran *Batch* dan *Intermittent***

Sistem aliran *batch* yaitu pengolahan air limbah dengan memasukkan limbah cair tempe ke reaktor dan limbah tersebut diam dalam reaktor selama 20 hari. Sedangkan sistem aliran *intermittent* dilakukan dengan perbandingan siklus *flooding* dan *drying*. Aliran secara *intermittent* yaitu limbah cair tempe dimasukkan ke dalam reaktor kemudian dibiarkan selama 2 hari (*flooding*). Selanjutnya air limbah dikeluarkan dan reaktor dibiarkan kering tidak di beri air limbah selama 1 hari (*drying*). Siklus ini berulang selama 21 hari.

Analisis hasil pengolahan limbah cair tempe dengan sistem *subsurface flow constructed wetlands* dengan aliran *batch* dan *intermittent* dapat dilihat pada Tabel 4.5 sampai 4.6.

Pengamatan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* dengan sistem aliran *batch* pada hari ke-20 dapat dilihat pada Tabel 4.7. Pengamatan *cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* dengan sistem aliran *intermittent* pada hari ke-21 dapat dilihat pada Tabel 4.8.





**Tabel 4.5 Hasil Analisis BOD**





Jenis Limbah	Reaktor	Batch		Intermittent	
		Konsentrasi BOD (mg/L)	% Removal	Konsentrasi BOD (mg/L)	% Removal
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	345	81	832	59
	<i>Scirpus grossus</i>	403	76	1220	40
	Kontrol	749	52	1306	36
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	280	82	406	66
	<i>Scirpus grossus</i>	260	77	532	55
	Kontrol	481	55	596	50
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	332	81	597	68
	<i>Scirpus grossus</i>	419	75	925	51
	Kontrol	707	54	792	50

**Tabel 4.6 Hasil Analisis COD**

Jenis Limbah	Reaktor	Batch		Intermittent	
		Konsentrasi COD (mg/L)	% Removal	Konsentrasi COD (mg/L)	% Removal
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	1280	69	2720	37
	<i>Scirpus grossus</i>	1560	61	2720	37
	Kontrol	1680	54	3080	29
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	780	76	780	41
	<i>Scirpus grossus</i>	840	70	820	38
	Kontrol	1300	59	920	30
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	1160	68	2120	33
	<i>Scirpus grossus</i>	1280	60	1980	37
	Kontrol	1600	53	2280	28





**Tabel 4.7 Reaktor pada Uji *Phytotreatment* Sistem Aliran *Batch* Hari ke-20**

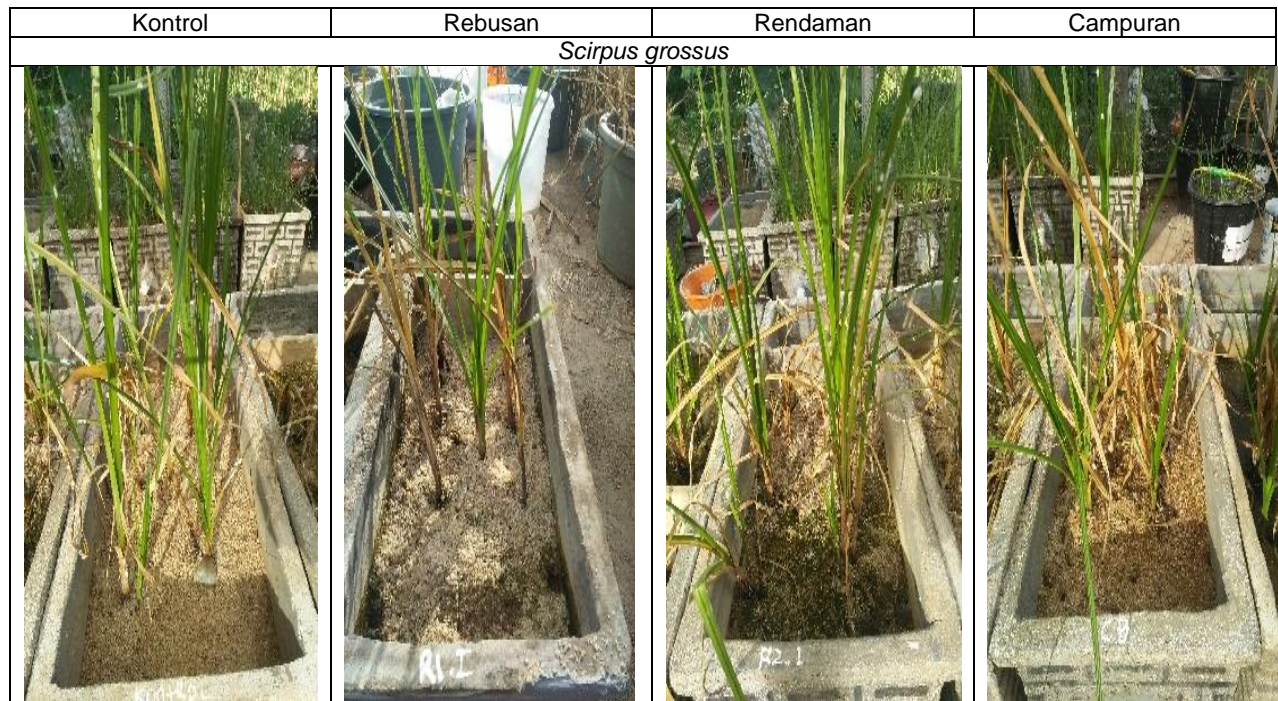
Kontrol	Rebusan	Rendaman	Campuran
<i>Cyperus rotundus</i>			
			

Kontrol	Rebusan	Rendaman	Campuran
<i>Scirpus grossus</i>			
			



**Tabel 4.8 Reaktor pada Uji *Phytotreatment* Sistem Aliran *Intermittent* Hari ke-21**

Kontrol	Rebusan	Rendaman	Campuran
<i>Cyperus rotundus</i>			
			





## **BAB 5.**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Efisiensi removal BOD, COD, TSS menggunakan SSF-CWs d dengan aliran *batch* yang paling maksimum yaitu menggunakan *Cyperus rotundus*. Pada limbah rebusan efisiensi removal BOD, COD, dan TSS sebesar 81%, 69%, 47%; pada limbah rendaman efisiensi removal BOD, COD, dan TSS sebesar 82%, 76%, 43%; pada limbah campuran efisiensi removal BOD, COD, dan TSS sebesar 81%, 68%, 40%.
2. Efisiensi removal BOD, COD menggunakan SSF-CWs dengan aliran *Intermittent* yang paling maksimum yaitu menggunakan *Cyperus rotundus*. Pada limbah rebusan efisiensi removal BOD, COD sebesar 59%, 37%; pada limbah rendaman efisiensi removal BOD, COD sebesar 66%, 41%; pada limbah campuran efisiensi removal BOD, COD sebesar 68%, 33%.

#### **5.2 Saran**

1. Untuk penelitian selanjutnya pada tahap *range finding test* dilakukan penambahan variasi konsentrasi yaitu di bawah 10% supaya konsentrasi limbah yang diterima tumbuhan tidak terlalu besar.
2. Untuk penelitian selanjutnya dilakukan analisis mikroorganisme yang terdapat pada media.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## Daftar Pustaka

- Abdulgani, H., Munifatul I., Sudarno. 2013. *Pengolahan Limbah Cair Industri Kerupuk dengan Sistem Subsurface Flow Constructed Wetland Menggunakan Tanaman Typha Angustifolia*.
- Alaerts G., & S.S Santika. 1984. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional. Surabaya. Indonesia.
- BPPT. 1997. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Sistem Biofilter Anaerob* . Laporan Kegiatan Kelompok Teknologi Pengolahan Air Bersih dan Limbah Cair, BPPT.
- Cristes, RW and Tchobanoglaus. 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management System*. McGraw-Hill, New York
- Dwinanto, A. 2009. *Analisis Kadar Parameter Air Limbah Industri*. Prosedur Analisis Laboratorium PERUM PERHUTANI UNIT 1, Jawa Tengah.
- Faridatuzzahro, Laili dkk. 2015. *Penurunan Nilai BOD dan COD Limbah Tahu Menggunakan Tanaman Cyperus papyrus Sistem Wetland*. Indonesian Journal of Chemical Science 4 (1)
- Fahrudin. 2010. *Bioteknologi Lingkungan*. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Gustari, A. (2004). *Efisiensi penyisihan Parameter Pencemar Limbah Cair Industri Karet pada Constructes wetlands dengan Menggunakan Tumbuhan Scirpus grossus L.f (Mensiang)*. Tugas Akhir Teknik Lingkungan S-1 Universitas Andalas, Padang.
- Hammer, M. J. 1986. *Water and Wasterwater Tecnology* 5th ed. Prentice-Hall, Inc, Upper Sadlle River, New Jersey 07458.
- Hammer, D.A. and Bastian, R.K., 1989. *Wetland Ecosystem : Natural Water Purifiers*
- Hayati, N. 1992. *Kemampuan eceng gondok dalam mengubah sifat fisik kimia limbah cair pabrik pupuk urea dan asam formiat*. Bandung: Pasca sarjana biologi Institut Teknologi Bandung.

- Heyne, K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia Vol.1*. Koperasi karyawan Departemen Kehutanan: Jakarta
- Hijosa-Valsero, M. 2010. *Optimization of Performance Assesment and Design Characteristics in Constructed Wetland for The Removal of Organic Matter*. Chemospher, vol. 8, 1:651-657.
- Husin, A. 2008. *Pengelolaan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Biofiltrasi Anaerob dalam Reaktor Fixed-Bed*. Thesis Master, Progam Pasca Sarjana USU. Medan.
- Indah, Shinta, dkk. 2010. *Studi Pengolahan Limbah Secara Biologis denga Menggunakan Tumbuhan Mensiang (Scirpus grossus L.f.) Pada Limbah Cair Hotel*. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas.
- Jinadasa, K.B.S.N., Tanaka, N., Mowjood, M.I.M., dan Werellagama, D.R.I.B. 2006. *Effectiveness of Scirpus grossus in Treatment of Domestic Wastes in a Constructed Wetland*. Journal of Freshwater Ecology, 21 (4), hal. 603-612.
- Karenlampi, S.K., Schat, H., Vangronsveld, J., Verkleij, J. A. C., van der Lelie, D., Mergeay, M. Tervahauta A.I. 2000. *Genetic Engineering in the Improvement of Plants for Phytoremediation of Metal Polluted Soils*. Environ. Pollut, 107, hal 225–231.
- Khiatuddin, M. 2003. *Melestarikan Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa Buata*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kristanto, P. 2002. *Ekologi Industri*. Yogyakarta : Ando Offest
- Kusumastuti, I., dkk. 2015. *Pengaruh Jumlah Tumbuhan Typha Angustifolia dan Ukuran Media Pasir yang Berbeda terhadap Penyisihan BOD dan COD dalam Lindi dengan Sub Surface Flow Constructed Wetland*. Jurnal Teknik Lingkungan, Vol 4, No.1
- Leady, B. 1997. *Constructed Subsurface Flow Wetlands For Wastewater Treatment*, Purdue University.
- Mangkoedihardjo, S. Dan G. Samudro. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, and Reuse*. Mc Graw Hill Inc. New York.

- Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse, Fourth Edition, International Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Muhajir, Mika. 2013. *Penurunan Limbah cair BOD dan COD pada Industri Tahu Menggunakan Tanaman Cattail (Typha angustifolia) dengan Sistem Constructed Wetland*. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
- Novotny, Vladimir & Harvey, Olem., 1993. *Water Quality prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*. Van Norstrand Reinhold. New York
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. *Tentang Baku Mutu Limbah Bagi Industri dan/atau Usaha Lainnya*.
- Risnawati, Imas & T. P. Damanhuri. 2010. *Penyisihan logam pada lindi menggunakan constructed wetlands*. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB Bandung
- Said, N I dan A. Herlambang. 2003. *Teknologi Pengolahan Limbah Tahu Tempe Dengan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta.
- Said, N. I. Dan Wahyono, H.D.B. 1999. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Tahu-Tempe dengan proses Biofilter Anaerob dan Aerob* . Kelompok Teknologi Pengolahan Air Bersih dan Limbah Cair. Direktorat Teknologi Lingkungan. Jakarta.
- Supradata. 2005. *Pengolahan Limbah Menggunakan Tanaman Rumput Hias (Cyperus alterifolius L) dengan Sistem Aliran Bawah Permukaan*. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
- Suswati, A.C.S.P dan Gunawan Wibisono. 2013. “ *Pengolahan Limbah Domestik Dengan Teknologi Taman Tanaman Air (Constructed Wetlands)*. Indonesian Green Technology Journal, Vol. 2 No.2: 70-77.
- Sutapa D. Al. 1999. Lumpur Aktif : Alternatif Pengolah Limbah Cair. *Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan & Lingkungan*, No.3; 25-38.
- Sutrisno dan Suciati. 1987. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Rineka Cipta Karya.

- Tangahu, B. V. dan Warmadewanthi, I. D. A. A. 2001. Pengelolaan Limbah Rumah Tangga Dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) dalam Sistem Constructed Wetland. *jurnal Purifikasi*, Volume 2 Nomor 3, ITS – Surabaya.
- Tangahu, B.V., Abdullah, S.R., Basri, H., M., Anuar, N., Mukhlisin, M. 2013. Phytotoxicity of Wastewater. *International Journal of Phytoremediation*, Vol. 15, No. 8:814-826.
- Tangahu, B. V., Dwi Agustiang Ningsih. 2016. *Uji Penurunan Kandungan COD, BOD pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan Scirpus grossus dan Iris pseudocorus dengan Sistem Pemaparan Intermittent*. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan* vol 8, No. 2, Juni 2016 Hal. 121-130.
- Unus, Suriawiria. 1996. *Mikrobiologi Air*. Bandung : Karya Cipta Edisi 2.
- Wardoyo, S.T.H. 1975. *Pengelolaan Kualitas Air*. IPB. Bogor.
- Winda dan Suharto. 2015. *Pengolahan Air Limbah Tempe dengan Metode Sequencing Batch Reactor Skala Laboratorium dan Industri Kecil Tempe*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” *Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*.
- Yang, Lei. 2008. Phytoremeditation: An Ecotechnology for Treating Contaminated Sites. *Waste Management* 12 (2008): 290-298.
- Yasril, Awalia Gusti. 2009. *Kemampuan Mansiang (Scirpus grossus) dalam menurunkan Kadar BOD dan COD Limbah Rumah Makan*. *Jurnal Kesehatan Lingkungan* Vol. 2, No. 2, Februari 2009, hal 67-71

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **Lampiran A**

### **PROSEDUR ANALISIS**

#### **1. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)**

Alat :

- Erlenmeyer 250 mL 2 buah
- Tabung COD
- Rak COD
- Pipet 5 mL dan 10 mL
- Pipet tetes 1 buah
- *Beaker glass* 50 mL 1 buah
- Gelas ukur 25 mL 1 buah
- Kompor listrik

Bahan :

- Larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,1 N
- Kristal perak sulfat ( $Ag_2SO_4$ ) dicampur dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ )
- Kristal merkuri sulfat ( $Hg_2SO_4$ )
- Larutan standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
- Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)

Prosedur :

- Memasukkan sampel ke dalam tabung 2 COD masing-masing sebanyak 2 mL, dimana 1 tabung sebagai blanko.
- Memasukkan  $Hg_2SO_4$  sebanyak  $\frac{1}{4}$  spatula.
- Menambahkan 1,5 mL Larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,1 N
- Menambahkan larutan campuran asam sebanyak 3,5 mL.
- Menyalakan kompor listrik dan meletakkan tabung COD pada rak COD, kemudian meletakkan rak COD tersebut di atas kompor listrik. Memanaskan selama 2 jam.
- Setelah 2 jam, kompor listrik dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
- Menambahkan indikator feroin sebanyak 1 tetes.

- Memindahkan sampel yang berada pada tabung COD ke dalam erlenmeyer 100 mL kemudian melakukan titrasi menggunakan standart FAS 0,0125 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat permanen.
- Hitung COD sampel dengan rumus :  

$$\text{COD} \left( \text{mg} \frac{\text{O}_2}{\text{L}} \right) = \frac{(A - B) \times n \times 8000}{\text{Volume sampel}} \times P \times f$$

Keterangan :

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

P = pengenceran

F = faktor FAS

## 2. Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Alat dan bahan :

- Labu ukur 500 ml 1 buah
- Botol *winkler* 300 ml 2 buah
- Botol *winkler* 150 ml 2 buah
- Botol *winkler* 300 ml 1 buah
- Botol *winkler* 150 mL 1 buah

Prosedur analisis :

- Sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran dituangkan ke dalam labu ukur kemudian ditambahkan air pengencer hingga tanda batas.
- Sampel yang telah diencerkan dituangkan ke dalam 1 botol *winkler* 300 mL dan 1 botol *winkler* 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati-hati.
- Air pengencer dituangkan ke dalam 1 botol *winkler* 300 mL dan 1 botol *winkler* 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati-hati.
- Larutan dalam botol *winkler* 300 mL dimasukkan ke dalam inkubator 20 °C selama 5 hari.
- Perhitungan nilai BOD dapat dihitung dengan :

$$\text{BOD}_{20}^5 \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$



$$P = \frac{\text{mL Sampel}}{\text{Volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Keterangan :

- Xo = DO sampel pada t = 0
- X5 = DO sampel pada t = 5
- Bo = DO blanko pada t = 0
- B5 = DO blanko pada t = 5
- P = Derajat pengenceran

### 3. Analisis DO (*Dissolve Oxygen*)

Alat :

- Larutan mangan sulfat ( $\text{MnSO}_4$ )
- Larutan pereaksi oksigen
- Larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) pekat
- Indikator amilum 0.5%
- Larutan standart Natrium tiosulfat 0,0125 N

Bahan :

- Botol *winkler* 150 mL 1 buah
- Gelas ukur 100 mL 1 buah
- Erlenmeyer 250 mL 1 buah
- Buret 25 mL atau 50 mL 1 buah
- *Beaker glass* 50 mL 1 buah
- Pipet 5 mL dan 10 mL
- Pipet tetes 1 buah

Prosedur analisis :

- Ambil sampel langsung dengan cara memasukkan botol *winkler* ke dalam air sampai botol *winkler* penuh dan tutup secara hati-hati.
- Tambahkan 1 mL larutan mangan sulfat ( $\text{MnSO}_4$ ).
- Tambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen.
- Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak terdapat gelembung udara, kemudian dibolak-balik.
- Gumpalan yang terbentuk dibiarkan mengendap selama 5 – 10 menit.
- Tambahkan 1 mL larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat, tutup dan bolak-balik botol beberapa kali sampai endapan hilang.

- Tuang 100 mL air kedalam erlenmeyer 250 mL dengan menggunakan gelas ukur 100 mL.
- Tambahkan 3 – 4 tetes indikator amilum.
- Titrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,0125 N hingga warna biru hilang pertama kali.
- Hitung oksigen terlarut dengan menggunakan rumus :

$$DO \text{ (mg/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

Keterangan :

a = Volume titrasi (mL)

N = Normalitas larutan Na-tiosulfat (0,0125 N)

100 mL = Volume sampel yang digunakan dalam titrasi

**Lampiran B**  
**DATA HASIL ANALISIS PENELITIAN**

**Pengukuran Laju Pertumbuhan *Cyperus rotundus***

Hari Ke	Tinggi Tanaman	Jumlah Daun
0	0,1	1
2	1	2
4	1,5	2
6	3	3
8	5,2	3
10	7,3	4
12	10,4	4
14	11,5	4
16	13,7	4
18	14,5	5
20	15,7	5
22	24	5
24	26,1	5
26	27,3	5
28	30,1	6
30	32,7	6
32	35	6
34	36,1	6
36	38,2	6
38	40,1	7
40	41,7	7

Hari Ke	Tinggi Tanaman	Jumlah Daun
42	42,8	7
44	45	7
46	48,9	7
48	50,2	8
50	53	8
52	54,5	8
54	57,3	8
56	58	8
58	59,4	8
60	60,5	8

**Pengukuran Laju Pertumbuhan *Scirpus grossus***

Hari Ke	Tinggi Tanaman	Jumlah Daun	Lebar Sisi Batang
0	0	1	0
2	0,2	1	0,1
4	1,5	1	0,1
6	7,3	2	0,2
8	15	2	0,2
10	19,1	2	0,2
12	21,5	3	0,2
14	27,1	3	0,3
16	36,2	3	0,3
18	43,7	4	0,4

Hari Ke	Tinggi Tanaman	Jumlah Daun	Lebar Sisi Batang
20	56	4	0,4
22	60,3	4	0,4
24	64,7	5	0,4
26	73,1	5	0,5
28	74,5	5	0,5
30	76,5	5	0,6
32	78	6	0,6
34	84	6	0,6
36	87	6	0,7
38	94,8	6	0,8
40	101	6	0,8
42	103	7	0,8
44	105,3	7	0,8
46	107,8	7	0,8
48	115,1	7	0,8
50	117,7	7	0,8
52	121,2	7	0,9
54	123,7	6	0,9
56	125,7	7	0,9
58	129,5	8	0,9
60	129,5	8	0,9
62	129,5	8	0,9
64	129,5	8	0,9
66	129,6	8	0,9

Hari Ke	Tinggi Tanaman	Jumlah Daun	Lebar Sisi Batang
68	129,6	8	0,9
70	129,6	8	0,9
72	129,6	8	0,9
74	129,6	8	0,9
76	129,6	8	0,9
78	129,6	8	0,9
80	129,6	8	0,9
82	129,6	8	0,9
84	129,6	8	0,9
86	129,6	8	0,9
88	129,6	8	0,9
90	129,6	8	0,9

### Pengamatan Fisik *Cyperus rotundus* pada Limbah Rebusan









Konsentrasi (Limbah : PDAM)	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
(Kontrol) 0% : 100%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 
10% :90%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 

Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
25% : 75%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>Sebagian ujung daun menguning</p> 	<p>50% tumbuhan menguning</p> 	<p>75% tumbuhan menguning</p> 
50% : 50%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>Sebagian ujung daun menguning</p> 	<p>75% tumbuhan menguning</p> 	<p>90% tumbuhan menguning</p> 



Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
75% : 25%	Warna daun hijau segar 	50% tumbuhan menguning 	75% tumbuhan menguning 	Tumbuhan mati 
100% : 0%	Warna daun hijau segar 	50% tumbuhan menguning 	90% tumbuhan menguning 	Tumbuhan mati 

**Pengamatan Fisik *Cyperus rotundus* pada Limbah Rendaman**

Konsentrasi (Limbah : PDAM)	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
(Kontrol) 0% : 100%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 
10% : 90%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 

Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
25% : 75%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Sebagian ujung daun mulai menguning 	50% tumbuhan menguning 
50% : 50%	Warna daun hijau segar 	Sebagian ujung daun mulai menguning 	50% tumbuhan menguning 	75% tumbuhan menguning 

Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
75% : 25%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>Sebagian ujung daun menguning</p> 	<p>75% tumbuhan menguning</p> 	<p>Tumbuhan mati</p> 
100% : 0%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>Sebagian ujung daun menguning</p> 	<p>90% tumbuhan menguning</p> 	<p>Tumbuhan mati</p> 

**Pengamatan Fisik *Cyperus rotundus* pada Limbah Campuran**









Konsentrasi (Limbah : PDAM)	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
(Kontrol) 0% : 100%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 
10% :90%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 

Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
25% : 75%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>Tidak terjadi perubahan fisik</p> 	<p>Sebagian ujung daun mulai menguning</p> 	<p>75% tumbuhan menguning</p> 
50% : 50%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>Tidak terjadi perubahan fisik</p> 	<p>Sebagian ujung daun mulai menguning</p> 	<p>75% tumbuhan menguning</p> 











Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
75% : 25%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>Sebagian ujung daun mulai menguning</p> 	<p>75% tumbuhan menguning</p> 	<p>Tumbuhan mati</p> 
100% : 0%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>Sebagian ujung daun mulai menguning</p> 	<p>90% tumbuhan menguning</p> 	<p>Tumbuhan mati</p> 

### Pengamatan Fisik *Scirpus gossus* pada Limbah Rebusan









Konsentrasi (Limbah : PDAM)	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
(Kontrol) 0% : 100%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 
10% : 90%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 



















Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
25% : 75%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Sebagian ujung daun mulai menguning 	50% tumbuhan menguning 
50% : 50%	Warna daun hijau segar 	Sebagian ujung daun mulai menguning 	75% tumbuhan menguning 	95% tumbuhan menguning 

Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
75% : 25%	Warna daun hijau segar 	50% tumbuhan menguning 	95% tumbuhan menguning 	Tumbuhan mati 
100% : 0%	Warna daun hijau segar 	75% tumbuhan menguning 	Tumbuhan mati 	Tumbuhan mati 

**Pengamatan Fisik *Scirpus gossus* pada Limbah Rendaman**









Konsentrasi (Limbah : PDAM)	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
(Kontrol) 0% : 100%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 
10% : 90%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 









Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
25% : 75%	Warna daun hijau segar 	Sebagian ujung daun menguning 	25% tumbuhan menguning 	50% tumbuhan menguning 
50% : 50%	Warna daun hijau segar 	Sebagian ujung daun menguning 	25% tumbuhan menguning 	50% tumbuhan menguning 









Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
75% : 25%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>Sebagian ujung daun mulai menguning</p> 	<p>50% tumbuhan menguning</p> 	<p>95% tumbuhan menguning</p> 
100% : 0%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>Sebagian ujung daun mulai menguning</p> 	<p>95% tumbuhan menguning</p> 	<p>Tumbuhan mati</p> 



### Pengamatan Fisik *Scirpus gossus* pada Limbah Campuran

Konsentrasi (Limbah : PDAM)	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
(Kontrol) 0% : 100%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 
10% : 90%	Warna daun hijau segar 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 	Tidak terjadi perubahan fisik 

Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
25% : 75%	Warna daun hijau segar 	Sebagian ujung daun mulai menguning 	75% tumbuhan menguning 	90% tumbuhan menguning 
50% : 50%	Warna daun hijau segar 	50% tumbuhan menguning 	90% tumbuhan menguning 	Tumbuhan mati 

Konsentrasi	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-5	Hari ke-7
75% : 25%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>75% tumbuhan menguning</p> 	<p>90% tumbuhan menguning</p> 	<p>Tumbuhan mati</p> 
100% : 0%	<p>Warna daun hijau segar</p> 	<p>75% tumbuhan menguning</p> 	<p>Tumbuhan mati</p> 	<p>Tumbuhan mati</p> 



### Data Analisis BOD dengan Aliran *Batch*

Jenis Limbah	Reaktor	Hari ke-										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	1798	1241	1399	1362	1374	1268	1193	815	793	624	345
	<i>Scirpus grossus</i>	1651	1427	1518	1449	1399	1320	1282	982	981	653	403
	Kontrol	1553	1560	1539	1460	1393	1417	1242	1024	1013	923	749
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	1523	1199	1266	1103	1110	1055	926	713	537	490	280
	<i>Scirpus grossus</i>	1120	1190	1135	1054	1297	1108	1165	806	719	474	260
	Kontrol	1069	1265	1298	1149	1173	1109	1043	816	867	769	481
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	1755	1181	1370	1221	1256	1125	1231	960	936	598	332
	<i>Scirpus grossus</i>	1651	1428	1332	1281	1305	1213	1160	1058	947	606	419
	Kontrol	1527	1394	1453	1332	1292	1110	1118	952	992	948	707

**Data Analisis COD dengan Aliran *Batch***

Jenis Limbah	Hari ke-											
	Reaktor	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	4080	3020	3720	3400	3120	2880	2080	1520	1760	2200	1280
	<i>Scirpus grossus</i>	3960	3560	3160	2400	3000	2560	2480	2440	2640	2000	1560
	Kontrol	3680	3640	3235	2440	2560	1760	1520	1240	1140	1800	1680
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	3280	3980	3840	3480	3320	2840	2720	1920	1480	1000	780
	<i>Scirpus grossus</i>	2800	3200	2310	2080	1440	1960	1840	1560	2400	1000	840
	Kontrol	3140	2520	1880	1600	2092	1520	1720	1040	2080	1600	1300
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	3620	3440	3200	2920	3080	3120	2960	1880	1200	2000	1160
	<i>Scirpus grossus</i>	3228	3320	2760	2520	3080	2520	2400	2560	2560	1400	1280
	Kontrol	3400	3520	1760	1520	1760	2080	1940	1080	1400	1800	1600

**Data Analisis Rasio BOD/COD dengan Aliran *Batch***

Jenis Limbah	Reaktor	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	0,44	0,41	0,38	0,40	0,44	0,44	0,57	0,54	0,45	0,28	0,27
	<i>Scirpus grossus</i>	0,42	0,40	0,48	0,60	0,47	0,52	0,52	0,40	0,37	0,33	0,26
	Kontrol	0,42	0,43	0,48	0,60	0,54	0,80	0,82	0,83	0,89	0,51	0,45
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	0,46	0,30	0,33	0,32	0,33	0,37	0,34	0,37	0,36	0,49	0,36
	<i>Scirpus grossus</i>	0,40	0,37	0,49	0,51	0,90	0,57	0,63	0,52	0,30	0,47	0,31
	Kontrol	0,34	0,50	0,69	0,72	0,56	0,73	0,61	0,78	0,42	0,48	0,37
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	0,48	0,34	0,43	0,42	0,41	0,36	0,42	0,51	0,78	0,30	0,29
	<i>Scirpus grossus</i>	0,51	0,43	0,48	0,51	0,42	0,48	0,48	0,41	0,37	0,43	0,33
	Kontrol	0,45	0,40	0,83	0,88	0,73	0,53	0,58	0,88	0,71	0,53	0,44

**Data Analisis TSS dengan Aliran *Batch***

Jenis Limbah	Reaktor	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	300	240	200	370	320	160	230	192	140	250	160
	<i>Scirpus grossus</i>	230	220	240	450	310	190	180	130	130	330	130
	Kontrol	270	250	230	360	240	120	120	110	110	310	150
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	300	210	210	370	280	180	240	108	150	270	170
	<i>Scirpus grossus</i>	230	200	120	370	240	170	150	144	150	290	150
	Kontrol	270	210	210	350	260	120	100	104	200	300	160
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	300	250	290	380	370	170	140	126	140	310	180
	<i>Scirpus grossus</i>	230	220	160	240	190	170	150	134	110	290	150
	Kontrol	270	230	220	360	220	210	200	260	130	120	170

**Data Analisis pH dengan Aliran *Batch***

Jenis Limbah	Reaktor	Hari ke-										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	5,19	6	6,06	6,07	6,27	6,06	7,06	6,52	6,12	7,07	8,13
	<i>Scirpus grossus</i>	5,08	5,66	5,74	5,87	6,51	6,14	7,21	6,69	6,91	7,09	7,58
	Kontrol	5,34	5,93	6,48	7,2	7,75	7,41	7,62	7,84	7,78	7,99	8,16
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	5,13	6,26	6,31	6,2	6,82	6,37	7,36	7,12	7,29	7,44	7,9
	<i>Scirpus grossus</i>	6,35	6,55	6,63	6,71	7,41	6,84	7,93	6,65	7,24	7,28	7,87
	Kontrol	6,08	6,16	6,54	6,5	6,67	6,62	7,74	7,53	7,23	7,44	7,85
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	4,83	5,07	5,62	5,92	6,32	6,44	7,21	6,95	7,45	7,49	7,62
	<i>Scirpus grossus</i>	4,93	4,92	5,53	5,63	6,65	5,96	6,97	6,44	6,64	6,79	7,95
	Kontrol	6,08	6,22	6,58	6,62	7,44	6,71	7,7	7,48	7,7	7,41	7,81

**Data Analisis Suhu dengan Aliran *Batch***

Jenis Limbah	Jenis Reaktor	Hari ke-										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	30	30	30	30	29	29	29	29	29	30	30
	<i>Scirpus grossus</i>	31	30	29	29	28	29	29	29	30	29	29
	Kontrol	33	32	35	34	34	33	34	34	35	33	33
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	29	30	29	29	29	27	29	28	29	29	29
	<i>Scirpus grossus</i>	30	29	29	30	27	30	30	29	29	29	30
	Kontrol	32	33	34	34	33	33	32	33	34	32	32
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	30	30	30	29	29	29	30	29	30	29	29
	<i>Scirpus grossus</i>	31,5	30	30	29	29	30	29	29	30	30	30
	Kontrol	33	32	35	34	34	32	33	32	33	33	34

**Data Analisis Tinggi *Cyperus rotundus* dengan Aliran Batch**

Tinggi <i>Cyperus rotundus</i> (cm)				
Hari ke-	Rebusan	Rendaman	Campuran	Kontrol
0	30	31	30	30
2	30	31	30	32,5
4	30	31,5	30,2	34,4
6	30,5	32	30,3	37,2
8	31,5	32,2	30,5	41,3
10	32	33	31	45,2
12	33,5	36,3	32	48
14	34,8	39,5	33,5	50,5
16	36,2	42,3	35,6	53,5
18	37,9	45,1	38,5	56,1
20	40	48,5	40,1	61

**Data Analisis Jumlah daun *Cyperus rotundus* dengan Aliran Batch**

Jumlah Daun <i>Cyperus rotundus</i>				
Hari ke-	Rebusan	Rendaman	Campuran	Kontrol
0	18	18	17	15
2	15	18	17	15
4	12	15	15	16
6	10	13	12	18
8	9	11	10	18
10	9	12	9	18
12	11	15	12	18
14	15	15	15	19
16	15	18	18	20
18	18	24	21	21
20	18	27	24	21

**Data Analisis Tinggi *Scirpus grossus* dengan Aliran *Batch***

Tinggi <i>Scirpus grossus</i> (cm)				
Hari ke-	Rebusan	Rendaman	Campuran	Kontrol
0	78	78	78	80
2	78	78	78	80,5
4	78,2	78,1	78,1	81,2
6	78,9	78,4	78,4	82,3
8	79,1	78,6	78,8	83,6
10	79,4	78,9	79	84,3
12	79,8	79,3	79,2	85,6
14	80	79,6	79,5	86,2
16	80,2	80	80	87,7
18	80,2	80,3	80,1	89,5
20	80,5	80,5	80,2	90,1

**Data Analisis Lebar Sisi Batang *Scirpus grossus* dengan Aliran *Batch***

Lebar sisi batang <i>Scirpus grossus</i> (cm)				
Hari ke-	Rebusan	Rendaman	Campuran	Kontrol
0	0,7	0,7	0,6	0,8
2	0,7	0,7	0,6	0,8
4	0,7	0,73	0,6	0,8
6	0,73	0,73	0,62	0,81
8	0,73	0,75	0,62	0,81
10	0,75	0,75	0,65	0,85
12	0,75	0,77	0,65	0,85
14	0,78	0,8	0,67	0,87
16	0,78	0,82	0,67	0,87
18	0,8	0,85	0,7	0,9
20	0,8	0,9	0,7	0,91



**Data Analisis Jumlah Daun *Scirpus grossus* dengan Aliran *Batch***

Jumlah daun <i>Scirpus grossus</i>				
Hari ke-	Rebusan	Rendaman	Campuran	Kontrol
0	5	5	5	5
2	5	5	5	5
4	5	5	5	5
6	6	5	5	5
8	6	6	6	5
10	6	6	6	5
12	6	6	6	5
14	5	5	5	6
16	5	5	5	6
18	4	5	4	6
20	4	4	4	6

**Data Analisis Berat Basah dan Berat kering Tumbuhan dengan Aliran *Batch***

Hari Ke-	Berat Basah (gram)				Berat Kering (gram)			
	Limbah Rebusan	Limbah Rendaman	Limbah Campuran	Kontrol	Limbah Rebusan	Limbah Rendaman	Limbah Campuran	Kontrol
<i>Cyperus rotundus</i>								
0	7,76	7,76	7,76	7,76	1,65	1,65	1,65	1,65
7	7,90	8,20	8,41	7,78	1,90	1,60	1,86	1,43
21	8,30	8,30	8,70	8,10	1,60	1,70	1,70	1,50
<i>Scirpus grossus</i>								
0	17,25	17,25	17,25	17,25	2,37	2,37	2,37	2,37
7	18,06	22,37	21,84	17,50	4,28	4,78	4,53	2,51
21	18,20	23,57	21,90	17,90	3,50	4,38	3,50	2,90

### Data Analisis BOD dengan Aliran *Intermittent*

Jenis Limbah	Reaktor	3			6			9			12		
		Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal	Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal	Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal	Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal
		Input	Output		Input	Output		Input	Output		Input	Output	
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	2041	1078	47	2073	1659	20	1428	1206	16	1571	1206	23
	<i>Scirpus grossus</i>	2041	932	54	2073	1598	23	1428	1175	18	1571	1021	35
	Kontrol	2041	1356	34	2073	1846	11	1428	1249	13	1571	1299	17
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	1876	1317	30	1398	782	44	731	416	43	736	615	16
	<i>Scirpus grossus</i>	1876	911	51	1398	1065	24	731	522	29	736	415	44
	Kontrol	1876	1357	28	1398	818	42	731	561	23	736	491	33
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	2130	1437	33	1998	1320	34	1090	827	24	1211	542	55
	<i>Scirpus grossus</i>	2130	1465	31	1998	1447	28	1090	749	31	1211	499	59
	Kontrol	2130	1485	30	1998	1491	25	1090	780	28	1211	551	55

**Lanjutan Data Analisis BOD dengan Aliran *Intermittent***

Jenis Limbah	Reaktor	15			18			21		
		Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal	Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal	Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal
		Input	Output		Input	Output		Input	Output	
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	1570	832	47	2279	1166	49	2038	832	59
	<i>Scirpus grossus</i>	1570	607	61	2279	1249	45	2038	1220	40
	Kontrol	1570	1248	20	2279	1116	51	2038	1306	36
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	584	377	36	1854	999	46	1195	406	66
	<i>Scirpus grossus</i>	584	415	29	1854	889	52	1195	532	55
	Kontrol	584	454	22	1854	864	53	1195	596	50
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	537	414	23	2648	1019	62	1889	597	68
	<i>Scirpus grossus</i>	537	440	18	2648	995	62	1889	925	51
	Kontrol	537	470	12	2648	1109	58	1584	792	50

### Data Analisis COD dengan Aliran *Intermittent*

Jenis Limbah	Reaktor	3			6			9			12		
		Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal	Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal	Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal	Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal
		Input	Output		Input	Output		Input	Output		Input	Output	
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	4040	2640	35	4520	2420	46	4320	2940	32	3540	1920	46
	<i>Scirpus grossus</i>	3960	2480	37	4520	3000	34	4320	2560	41	3540	2040	42
	Kontrol	4420	3140	29	4520	2920	35	4320	1880	56	3540	2200	38
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	3480	2880	17	2520	1760	30	3920	2080	47	1840	880	52
	<i>Scirpus grossus</i>	3480	2640	24	2520	2000	21	3920	2640	33	1840	1100	40
	Kontrol	3460	2680	23	2520	1960	22	3920	2600	34	1840	1280	30
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	3200	2320	28	3440	2160	37	4240	2120	50	2240	1200	46
	<i>Scirpus grossus</i>	3460	2520	27	3440	2600	24	4240	2880	32	2240	1260	44
	Kontrol	3500	2560	27	3440	2600	24	4240	2720	36	2240	1540	31

**Lanjutan Data Analisis COD dengan Aliran *Intermittent***

Jenis Limbah	Reaktor	15			18			21		
		Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal	Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal	Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal
		Input	Output		Input	Output		Input	Output	
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	4920	2520	49	3920	1600	59	4320	2720	37
	<i>Scirpus grossus</i>	4920	2400	51	3920	1800	54	4320	2720	37
	Kontrol	4920	2700	45	3920	2400	39	4320	3080	29
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	4080	1880	54	3240	1400	57	1320	780	41
	<i>Scirpus grossus</i>	4080	2040	50	3240	1600	51	1320	820	38
	Kontrol	4080	2280	44	3240	1800	44	1320	920	30
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	4160	2000	52	3640	1200	67	3160	2120	33
	<i>Scirpus grossus</i>	4160	2240	46	3640	1300	64	3160	1980	37
	Kontrol	4160	2400	42	3640	2400	34	3160	2280	28

**Data Analisis Rasio BOD/COD dengan Aliran *Intermittent***

Jenis Limbah	Reaktor	Hari ke- 3			Hari ke- 6			Hari ke- 9			Hari ke- 12		
		Konsentrasi (mg/L)		BOD/ COD	Konsentrasi (mg/L)		BOD/ COD	Konsentrasi (mg/L)		BOD/ COD	Konsentrasi (mg/L)		BOD/ COD
		BOD	COD		BOD	COD		BOD	COD		BOD	COD	
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	1078	2640	0,41	1659	2420	0,69	1206	2940	0,41	1206	1920	0,63
	<i>Scirpus grossus</i>	932	2480	0,38	1598	3000	0,53	1175	2560	0,46	1021	2040	0,50
	Kontrol	1356	3140	0,43	1846	2920	0,63	1249	1880	0,66	1299	2200	0,59
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	1317	2880	0,46	782	1760	0,44	416	2080	0,20	615	880	0,70
	<i>Scirpus grossus</i>	911	2640	0,35	1065	2000	0,53	522	2640	0,20	415	1100	0,38
	Kontrol	1357	2680	0,51	818	1960	0,42	561	2600	0,22	491	1280	0,38
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	1437	2320	0,62	1320	2160	0,61	827	2120	0,39	542	1200	0,45
	<i>Scirpus grossus</i>	1465	2520	0,58	1447	2600	0,56	749	2880	0,26	499	1260	0,40
	Kontrol	1485	2560	0,58	1491	2600	0,57	780	2720	0,29	551	1540	0,36

**Lanjutan Data Analisis Rasio BOD/COD dengan Aliran *Intermittent***

Jenis Limbah	Reaktor	Hari ke- 15			Hari ke- 18			Hari ke- 21		
		Konsentrasi (mg/L)		BOD/COD	Konsentrasi (mg/L)		BOD/COD	Konsentrasi (mg/L)		BOD/COD
		BOD	COD		BOD	COD		BOD	COD	
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	832	2520	0,33	1166	1600	0,73	832	2720	0,31
	<i>Scirpus grossus</i>	607	2400	0,25	1249	1800	0,69	1220	2720	0,45
	Kontrol	1248	2700	0,46	1116	2400	0,46	1306	3080	0,42
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	377	1880	0,20	999	1400	0,71	406	780	0,52
	<i>Scirpus grossus</i>	415	2040	0,20	889	1600	0,56	532	820	0,65
	Kontrol	454	2280	0,20	864	1800	0,48	596	920	0,65
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	414	2000	0,21	1019	1200	0,85	597	2120	0,28
	<i>Scirpus grossus</i>	440	2240	0,20	995	1300	0,77	925	1980	0,47
	Kontrol	470	2400	0,20	1109	2400	0,46	792	2280	0,35



### Data Analisis TSS dengan Aliran *Intermittent*

Jenis Limbah	Reaktor	3		6		9		12		15		18		21	
		Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	250	150	310	200	250	350	450	410	190	90	210	580	100	160
	<i>Scirpus grossus</i>	250	200	310	300	250	210	450	610	190	620	210	530	100	680
	Kontrol	250	150	310	300	250	370	450	520	190	140	210	160	100	480
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	180	130	200	170	180	130	180	280	220	100	190	590	600	390
	<i>Scirpus grossus</i>	180	130	200	160	180	460	180	240	220	120	190	510	600	450
	Kontrol	180	120	200	180	180	250	180	240	220	100	190	150	600	240
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	230	150	300	150	230	280	220	140	290	50	230	610	200	390
	<i>Scirpus grossus</i>	230	150	300	200	230	380	220	150	290	130	230	520	200	500
	Kontrol	230	170	300	200	230	210	220	130	290	140	230	360	200	380

### Data Analisis pH dengan Aliran *Intermittent*

Jenis Limbah	Reaktor	0	3	6	9	13	15	18	21
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	5,38	6,22	5,79	7,32	6,32	5,92	6,16	5,65
	<i>Scirpus grossus</i>	5,17	6,47	6,13	6,61	6,81	6,71	6,43	6,57
	Kontrol	5,16	5,49	5,17	6,81	5,96	5,43	5,63	5,57
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	6,47	6,13	6,98	7,21	7,11	7	6,82	7,17
	<i>Scirpus grossus</i>	6,02	7,08	6,46	7,39	7	6,89	6,95	7,74
	Kontrol	5,77	6,31	6,85	7,78	7,29	6,26	7,35	7,37
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	5,5	6,02	6,82	6,85	7,02	7,08	6,88	6,78
	<i>Scirpus grossus</i>	5,15	6,07	6,26	7,01	6,74	6,97	6,92	6,13
	Kontrol	5,69	6,08	6,38	7,36	6,88	6,31	6,47	6,74

### Data Analisis Suhu dengan Aliran *Intermittent*

Jenis Limbah	Jenis Reaktor	Hari ke-							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Rebusan	<i>Cyperus rotundus</i>	34	35	34	33	35	34	35	35
	<i>Scirpus grossus</i>	29	29	29	29	29	29	30	29
	Kontrol	32	35	34	34	36	33	34	34
Rendaman	<i>Cyperus rotundus</i>	33	34	35	32	35	35	34	35
	<i>Scirpus grossus</i>	30	30	30	29	29	29	30	30
	Kontrol	32	35	34	33	34	35	34	33
Campuran	<i>Cyperus rotundus</i>	33,5	35	35	33	35	34	34	35
	<i>Scirpus grossus</i>	31	31	30	31	31	30	30	31
	Kontrol	33	35	34	34	34	34	33	33

**Data Analisis Tinggi *Cyperus rotundus* dengan Aliran *Intermittent***

Tinggi <i>Cyperus rotundus</i>				
Hari ke-	Rebusan	Rendaman	Campuran	Kontrol
0	30	31	31	30
2	30	31	31	32,5
4	30	31,2	31,1	34,4
6	30	31,9	31,3	37,2
8	30,1	32	31,8	41,3
10	30,1	32,1	32	45,2
12	30,1	32,9	32,9	48
14	30,1	33,5	33,3	50,5
16	30,1	36	34,7	53,5
18	30,1	38,5	37,5	56,1
20	30,1	41,5	40,1	61

**Data Analisis Jumlah Daun *Cyperus rotundus* dengan Aliran *Intermittent***

Jumlah Daun <i>Cyperus rotundus</i>				
Hari ke-	Rebusan	Rendaman	Campuran	Kontrol
0	18	18	18	15
2	15	14	15	15
4	14	13	14	16
6	11	10	12	18
8	9	10	10	18
10	9	9	9	18
12	7	12	9	18
14	6	14	12	19
16	3	15	14	20
18	1	16	15	21
20	0	18	17	21

**Data Analisis Tinggi *Scirpus grossus* dengan Aliran *Intermittent***

Tinggi <i>Scirpus grossus</i> (cm)				
Hari ke-	Rebusan	Rendaman	Campuran	Kontrol
0	78	78	78	80
2	78	78	78	80,5
4	78	78,2	78	81,2
6	78,2	78,5	78,1	82,3
8	78,4	78,7	78,2	83,6
10	78,5	79	78,5	84,3
12	78,9	79,3	78,6	85,6
14	79,1	79,8	78,9	86,2
16	79,1	80	79,2	87,7
18	79,3	80,1	79,5	89,5
20	79,5	80,1	80	90,1

**Data Analisis Lebar Sisi Batang *Scirpus grossus* dengan Aliran *Intermittent***

Lebar sisi batang <i>Scirpus grossus</i> (cm)				
Hari ke-	Rebusan	Rendaman	Campuran	Kontrol
0	0,7	0,7	0,6	0,8
2	0,7	0,7	0,6	0,8
4	0,7	0,7	0,6	0,8
6	0,7	0,7	0,6	0,8
8	0,7	0,7	0,62	0,8
10	0,7	0,7	0,62	0,81
12	0,7	0,75	0,62	0,81
14	0,71	0,77	0,62	0,81
16	0,71	0,8	0,62	0,81
18	0,71	0,8	0,62	0,81
20	0,71	0,8	0,62	0,81

**Data Analisis Jumlah Daun *Scirpus grossus* dengan Aliran *Intermittent***

Jumlah daun <i>Scirpus grossus</i>				
Hari ke-	Rebusan	Rendaman	Campuran	Kontrol
0	5	5	5	5
2	5	5	5	5
4	5	5	5	5
6	6	5	5	5
8	6	6	6	5
10	6	6	6	5
12	6	6	6	5
14	5	5	5	6
16	5	5	5	6
18	4	5	4	6
20	4	4	4	6

**Data Analisis Berat Basah dan Berat Kering dengan Aliran *Intermittent***

Hari Ke-	Berat Basah (gram)				Berat Kering (gram)			
	Limbah Rebusan	Limbah Rendaman	Limbah Campuran	Kontrol	Limbah Rebusan	Limbah Rendaman	Limbah Campuran	Kontrol
<i>Cyperus rotundus</i>								
0	7,76	7,76	7,76	7,76	1,65	1,65	1,65	1,65
7	8,40	8,10	8,35	8,30	2,25	1,88	1,27	1,50
21	8,60	11,50	10,40	8,37	1,90	2,50	2,10	1,78
<i>Scirpus grossus</i>								
0	18,61	18,61	18,61	18,61	2,57	2,57	2,57	2,57
7	22,03	19,77	20,44	19,13	4,71	3,67	5,46	3,01
21	26,10	21,10	22,50	20,20	4,50	3,50	4,70	3,30

## **Lampiran C**

### **DOKUMENTASI PENELITIAN**



**Gambar Analisis COD**



**Gambar Analisis BOD**



**Gambar Analisis pH**



**Gambar Analisis Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan**



**Gambar Sampling Air limbah untuk Uji Parameter**





**Gambar Range Finding Test (RFT) *Cyperus rotundus***



**Gambar Range Finding Test (RFT) *Scirpus grossus***



Gambar Reaktor pada Uji *Phytotreatment*

## BIOGRAFI PENULIS



Dorlinca Simamora dilahirkan di Doloksanggul, Sumatera Utara pada tanggal 17 Januari 1995. Penulis meneyam pendidikan dasar pada tahun 2001-2007 di SDN 176354 Hutasoit. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan SLTP di SMPN 4 Lintongnihuta pada tahun 2007-2010. Pendidikan SLTA dijalani penulis pada tahun 2010-2013 di SMAN 2 Balige. Pada Tahun 2013, penulis melanjutkan kuliah di Teknik Lingkungan FTSP Institut

Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 3313100055.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia dalam berbagai kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan dan pada periode 2015-2016 penulis aktif sebagai bendahara Persekutuan Doa Teknik Lingkungan. Pada tahun 2016-2017 penulis aktif sebagai bendahara di Lembaga Minat Bakat ITS.

Pada Tahun 2016, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Angkasa Pura II Kualanamu, Medan di bidang pengolahan limbah cair. Penulis sangat menghargai adanya saran dan masukan yang membangun. Penulis dapat dihubungi melalui *email* dengan alamat [dorlincasmr@gmail.com](mailto:dorlincasmr@gmail.com)